



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JOHANNA SALONEN  
TUOTANTO-OSASTON LAYOUTIN OPTIMOIMINEN JA VIR-  
TAUTTAMINEN LEAN-PERIAATTEIN

Diplomityö

Tarkastaja professori Marko Seppä-  
nen. Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
29. toukokuuta 2017.

# TIIVISTELMÄ

**JOHANNA SALONEN:** Tuotanto-osaston layoutin optimoiminen ja virtauttaminen Lean-periaattein

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 83 sivua, 4 liitesivua

Toukokuu 2018

Johtamisen ja tietotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Tuotantotalous

Tarkastaja: professori Marko Seppänen

Avainsanat: layout, layout-suunnittelu, Lean, arvovirtakuvaus

Työn kohteena on laminoituja laseja ajoneuvoteollisuuden käyttöön valmistavan tuotantoyksikön kokoonpano-osasto, jonka nykyinen layout oli arvioitava ja suunniteltava Lean-periaatteita huomioiden uudelleen. Layout-suunnittelun tarve ilmaantui ensisijaisesti liiketoiminnallisista, mutta myös työssä viihtymisen lähtökohdista. Valmistettavien tuotteiden valmistusmäärään ja tuotemalleihin oli odotettavissa muutoksia lähitulevaisuudessa, eivätkä kaikki tuotantolaitteet vastanneet teknisiltä ratkaisuiltaan vuosien saatossa muuttuneiden tuotemallien valmistustarpeita. Myös materiaali- ja informaatiovirroissa esiintyi kehitystarvetta ja laitekohtaisissa valmistusmäärissä esiintyvä vaihtelu loi pitkällä aikavälillä haasteita asetetun tuotantomäärän saavuttamiseen.

Nykytilanteen tutkimisessa ja tulevaisuuden layoutin toiminnan hahmottelemisessa käytettiin erilaisia tutkimusmenetelmiä. Arvovirtakuvauksella sekä PQ- ja PR-analyysillä tutkittiin käytettävissä olevia laitteita, tuotannon välivarastoja, niissä olevien puolivalmistesten määriä sekä tuotteiden valmistusmääriä ja -reittejä. Tuotantolaitteita tutkittiin kohdennetusti lisäksi erilaisin tarkentavin mittausmenetelmin, jotta saatiin tietoa niiden toimintatavoista ja erilaisten tuotteiden valmistuksen vaiheajoista. Materiaalivirtauksia ja alueen eri toimintojen välisiä riippuvuuksia tutkittiin analysoimalla dokumentoitua dataa, toteuttamalla puolijäsenneltyjä haastatteluita sekä omien havaintojen avulla. Tulokset kuvattiin niille tarkoitetuilla menetelmillä. Kohdealueen henkilöstön kanssa käytöksen jäsentämättömien haastattelujen avulla muodostettiin ymmärrys alueen nykyisen layoutratkaisujen toimivuudesta ja vaikutuksista työskentelyyn.

Suunnittelutyössä huomioitiin tutkimustulosten lisäksi myös Lean-periaatteet. Tavoitteena oli laatia lyhyellä aikavälillä toteutettavissa oleva layout, joka tuo ratkaisun muuttuvan tuotemallin valmistusresurssikysymykseen sekä nykyisen layoutin merkittävimpiin ongelmakohtiin ja edesauttaisi materiaali- ja informaatiovirtausten sujumista.

Tuloksena saatiin yhdeksän suunnittelutyölle asetetut tavoitteet ja rajoitteet täyttävää ehdotusta, joista johdon arvioimana valikoitui kolme parasta vaihtoehtoa kohdeosaston työntekijöiden arvioitavaksi. Näistä vaihtoehtoista työntekijät valitsivat parhaan, josta laadittiin kustannusarvio ja muutostarpeet.

## ABSTRACT

**JOHANNA SALONEN:** Optimizing and streamlining the production department's layout with Lean-principles  
Tampere University of Technology  
Master of Science Thesis, 83 pages, 4 Appendix pages  
May 2018  
Master's Degree Programme in Industrial Engineering and Management  
Major: Industrial Engineering  
Examiner: Professor Marko Seppänen

**Keywords:** layout, layout-planning, Lean, Value Stream Mapping

This thesis is focused on the assembly department of one manufacturing unit, which produces laminated windscreens for automotive industry. Layout of the department was to be evaluated and planned following the Lean-principles. The need for layout design emerged primarily from the business but also from the premises of work satisfaction. There were expected changes in the manufacturing volume and product models of the products to be manufactured in the near future, and not all of the production equipment responded to the manufacturing needs of the changed product models over the years. There was also a need for development in material and information flows, and variation in equipment-specific volumes produced long-term challenges in achieving the production volume targets.

Various research methods were used to study the present situation and to map out the future layout. Value stream mapping and PQ- and PR-analyzes were used to investigate the available equipment, production intermediate stocks, the number of semi-finished products in them, and the quantities and routes of manufacture of the products. The production equipment was also studied in a targeted manner with various methods of measurement in order to obtain information about their operating methods and the stages of manufacture of different products. Material flows and dependencies between different functions within the region were studied by analyzing documented data, by conducting semi-structured interviews, and by using researcher's own observations. The results were described by methods intended for them. Through unstructured interviews with the area staff, an understanding of the functionality and impact of existing layout solutions in the area was established.

The design work included not only the results of the research but also the Lean-principles. The aim was to formulate a short-term feasible layout that brings the solution to the manufacturing resource issue of the changing product model as well as the most significant problems in the current layout and to facilitate the flow of material and information streams.

The result was the nine designs, which were evaluated by the management as selecting the three best options to the employees for to evaluate. Of these options, employees chose the best one from which costs was estimated and needed changes listed.

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Työn tavoite ja rajaukset .....	1
1.2	Tutkimusongelmat ja käytetyt tutkimusmenetelmät .....	2
1.3	Työn rakenne .....	3
2.	KIRJALLISUUSKATSAUS .....	5
2.1	Operaatioiden johtamisen periaatteita .....	5
2.2	Tuotannon johtaminen .....	6
2.2.1	Tuoteryhmittely tuotantotyyppin valinnassa .....	7
2.2.2	Tuotannon kapasiteetti .....	12
2.2.3	Tuotannon virtaus .....	14
2.3	TPS ja Lean .....	15
2.3.1	Lean-periaatteen mukainen valmistus .....	16
2.3.2	Systeemiajattelu .....	18
2.3.3	Hukka .....	21
2.3.4	Arvovirtakuvaus .....	22
2.4	Layout-suunnittelu ja siihen vaikuttavat ohjausperiaatteet .....	24
2.4.1	Suunnitteluprosessin vaiheet .....	25
2.4.2	Lean-periaatteet layout-suunnittelussa .....	32
2.5	Teoreettisen katsauksen yhteenveto .....	33
2.5.1	Tuotantoympäristön huomioiminen layout-päätöksissä .....	34
2.5.2	Lean-periaatteet .....	35
2.5.3	Layout-suunnittelun periaatteet .....	36
3.	AINEISTON KUVAUS JA TUTKIMUSMENETELMÄ .....	37
3.1	Kohdeorganisaation kuvaus .....	37
3.1.1	Tuotekuvaus .....	37
3.1.2	Prosessikuvaus .....	38
3.2	Tutkimusmenetelmän kuvaus .....	39
4.	TULOKSET .....	41
4.2	Nykytilan kuvaus .....	42
4.2.1	Langoitus .....	44
4.2.2	Laminointi .....	45
4.2.3	Layout-suunnittelun tarve .....	47
4.3	Suunnitteluprosessin kuvaus .....	48
4.4	Keskeiset tulokset .....	52
4.4.1	PQ- ja PR-analyysit .....	53
4.4.2	Arvovirtakuvaus .....	56
4.4.3	Välipäätökset .....	61
4.4.4	Materiaalivirrat .....	61
4.4.5	Suhdekaavio .....	65

4.4.6	Tila-analyysi.....	65
4.4.7	Layout-ehdotusten arviointi .....	66
4.5	Uuden layoutin esittely.....	67
4.5.1	Muut ongelmanratkaisuehdotukset .....	70
4.5.2	Layout-päätösten taustat .....	71
4.5.3	Layout-ehdotuksen edellyttämät muutostyöt .....	73
5.	YHTEENVETO .....	74
5.1	Päätulokset .....	74
5.2	Työn tieteellinen arviointi .....	76
5.3	Jatkokehitysehdotukset.....	78
6.	LÄHTEET.....	80

LIITE 1: PVB-KALVON LEIKKUUN PROSESSIKAAVIOT NYKYTILANTEESSA JA UUDESSA LAYOUTISSA

LIITE 2: SIGLASOL-KALVON LEIKKUUPROSESSI NYKYTILANTEESSA JA UUDESSA LAYOUTISSA

LIITE 3: TOIMINTOPARIEN SELITYKSET NYKYTILANTEESSA JA TULEVAISUUDESSA

LIITE 4: TOIMINTOJEN VÄLINEN SUHDEKAAVIO

## KUVALUETTELO

<b>Kuva 1.</b>	<i>Operaatiotoiminnot systeeminä (mukaillen Robbins et al. 2011, s. 400).</i> .....	5
<b>Kuva 2.</b>	<i>PQ-analyysi (mukaillen Muther et al. 2015, s. 3.3).</i> .....	7
<b>Kuva 3.</b>	<i>Syvä PQ-kuvaaja (mukaillen Muther et al. 2015, s. 3.5).</i> .....	9
<b>Kuva 4.</b>	<i>Valmistettavan tuotteen vaikutus tuotantotyyppin valintaan (mukaillen Vonderembse et al. 1996, s. 264; Sule 2009; Stevensson 2012).</i> .....	10
<b>Kuva 5.</b>	<i>Perinteisen (vasemmalla) ja Lean- toimintatavan (oikealla) eroavaisuudet kapasiteetin hyödyntämisessä (mukaillen Slack et al. 2010, s. 434).</i> .....	13
<b>Kuva 6.</b>	<i>Perinteinen valmistuksen toimintamalli (mukaillen Slack et al. 2010, s. 431).</i> .....	17
<b>Kuva 7.</b>	<i>Lean-periaatteen mukainen valmistustapa (mukaillen Slack et al. 2010, s. 431).</i> .....	17
<b>Kuva 8.</b>	<i>Lean-toimintatavan kokonaisvaltaisuus (mukaillen Dennis et al. 2007, s. 20).</i> .....	19
<b>Kuva 9.</b>	<i>Esimerkki arvovirtakuvauksesta (mukaillen Jones et al. 2009, s.4 ja Nash et al. 2008, s. 78).</i> .....	23
<b>Kuva 10.</b>	<i>Layout-suunnittelun vaiheet (mukaillen Shewale et al. 2012).</i> .....	27
<b>Kuva 11.</b>	<i>Läheisyyskaavion rakenne (mukaillen Muther et al. 2015 s. 5.3).</i> .....	29
<b>Kuva 12.</b>	<i>Toimintojen välisten materiaalivirtausten voimakkuuksien esittäminen (mukaillen Muther et al. 2015, s. 4.25).</i> .....	31
<b>Kuva 13.</b>	<i>Tuotantoympäristön, Lean-periaatteiden sekä layout-suunnittelun periaatteiden keskinäinen yhteys.</i> .....	34
<b>Kuva 14.</b>	<i>Laminoidun lasin rakenne.</i> .....	37
<b>Kuva 15.</b>	<i>Laminoidun lasin valmistusprosessi ja työn kohdeosasto.</i> .....	39
<b>Kuva 16.</b>	<i>Kalvojen esikäsittely- ja tuotteen kokoonpanoprosessit.</i> .....	41
<b>Kuva 17.</b>	<i>Nykyinen layout.</i> .....	42
<b>Kuva 18.</b>	<i>Langoitusprosessi.</i> .....	44
<b>Kuva 19.</b>	<i>Laminointiprosessi.</i> .....	46
<b>Kuva 20.</b>	<i>Layoutin suunnitteluprosessi (mukaillen Muther 1955, Francis et al. 1974; Santos et al. 2006; Shewale 2012; Muther et al. 2015; A3 Problem-Solving; Sarkar, Sobek).</i> .....	49
<b>Kuva 21.</b>	<i>PQ-analyysi nykyisestä tuotevalikoimasta.</i> .....	53
<b>Kuva 22.</b>	<i>Nykyisen tuotevalikoiman jakautuminen eri valmistuslinjoille.</i> .....	54
<b>Kuva 23.</b>	<i>Tuotteiden toteutuneen valmistuslinjan oikeellisuusprosentit.</i> .....	54
<b>Kuva 24.</b>	<i>PQ-analyysi muuttuneesta tuotemallivalikoimasta.</i> .....	55
<b>Kuva 25.</b>	<i>Tulevaisuuden PR-analyysi.</i> .....	56
<b>Kuva 26.</b>	<i>Laminointilinjakohtaiset jakso- ja vaiheaikojen suhteet.</i> .....	57

<b>Kuva 27.</b>	<i>Eri tuotemallien vaiheajat 1508-kokoonpanolinjalla.....</i>	<i>59</i>
<b>Kuva 28.</b>	<i>Erilaisten tuotemallien prosessikuvaukset 1508- laminointilinjalla. ....</i>	<i>59</i>
<b>Kuva 29.</b>	<i>Materiaalivirtausten voimakkuudet eri toimintojen välillä nykytilanteessa.....</i>	<i>62</i>
<b>Kuva 30.</b>	<i>Tulevaisuuden materiaalivirtausten voimakkuudet.....</i>	<i>63</i>
<b>Kuva 31.</b>	<i>Nykyiset materiaalireitit layout-pohjalle kuvattuna virtausdiagrammina. ....</i>	<i>64</i>
<b>Kuva 32.</b>	<i>Parhaaksi valittu layout-vaihtoehto. ....</i>	<i>68</i>
<b>Kuva 33.</b>	<i>Materiaalivirtojen näkymä parhaaksi valitulla layout-pohjalla virtausdiagrammina. ....</i>	<i>69</i>
<b>Kuva 34.</b>	<i>Uuden layoutin muutostyön aluekokonaisuudet.....</i>	<i>73</i>

# 1. JOHDANTO

Layout on paitsi koneiden, varastojen, ja materiaalin käsittelylaitteistojen sekä muiden toimintojen nähtävissä oleva toteutus, mutta myös ihmisten, materiaalien ja informaation virtausalue. (Moore 1962) Virtaus on autovalmistaja Toyotan valmistussysteemiä kuvaavan termin, Lean, peruskäsite joka kuvaa materiaalien tai resurssien liikettä (Santos *et al.* 2006; Tuominen 2010; Byrne 2013; Piirainen 2015). Tavoite pienentää kustannuksia jälleenmyyntihinnan korotuksen sijasta, on ollut Toyotan käänteen tekevä ajattelumalli, joka myös erotti sen aikanaan niin sanotusta perinteisestä ajattelutavasta valmistavan teollisuuden aloilla. Oivallus siitä, että myyntihintaa ei voida loputtomasti nostaa omien kustannusten noustessa, herätti eloon ajatusmallin kaiken turhan, eli hukan poistamisesta toiminnasta. (Santos *et al.* 2006; Dennis *et al.* 2007)

Tehokas layout edesauttaa hyödykkeen valmistuskustannusten minimointia ja auttaa siten markkinaosuuden rakentamisessa ja säilyttämisessä. (Vonderembse *et al.* 1996) Layoutin tarkoitus on tukea ja tehdä mahdolliseksi tuotantoprosessin edellyttämien työvaiheiden suorittamista siten, että se on liiketoiminnallisesti kannattavaa (Moore 1962), ihmisten työskentely on turvallista (Santos *et al.* 2006) sekä materiaali- ja informaatiovirrat optimaalisia. (Heizer *et al.* 2014)

## 1.1 Työn tavoite ja rajaukset

Työn kohteena olevan yrityksen kokoonpano-osaston layout ei kaikilta osin tue ihmisten, informaation ja materiaalin sujuvaa virtausta. Kaikkia valmistuslaitteita ei ole sijoitettu optimaalisesti joko itse kokoonpano-osaston alueelle tai toisiin laitteisiin nähden. Nykyiset layout-ratkaisut näkyvät päivittäisessä työskentelyssä materiaalien hankalina tai toistuvina edestakaisina kuljetuksina, varastotilojen ja valmistuslaitteiden epäoptimaalisena hyödyntämisenä, informaation välittämisen haasteina sekä työssä viihtymisen haasteina. Laitekohtaisissa tuotantomäärissä esiintyvä vaihtelu aiheuttaa osaltaan materiaali- ja informaation virtausten pysähtelyä ja laitekohtaista jättämää asetetusta tuotantotavoitteesta. Lähtötilanteissa valmistettavaksi on tulossa ominaisuuksiltaan uudenlaisia tuotemalleja, joiden kokoonpanoprosessi eroaa vaiheajaltaan nykyisistä tuotemalleista selvästi hitaampana, jolloin osaston kapasiteetti ei enää riitä vastaamaan kysyntään. Uutta tuotemallia ei voida siirtää kokoonpano-osaston nykyisille valmistuslaitteille ilman, että se vaikuttaisi olennaisesti osaston sisäisiin materiaali- ja informaatiovirtoihin ja tuotantomääriin.



Tässä diplomityössä tavoitteena on ymmärtää nykytilanteen haasteet ja niiden taustalla vaikuttavat juurisyynyt sekä löytää layout-malli, jossa Lean-periaatteita hyödyntäen pyritään ratkaisemaan nykyisessä mallissa esiintyvät ongelmat sekä määrittämään uudelle tuotemallille valmistuslaite ja laitteen sijoituspaikka. Olennaista on huomioida joustomahdollisuus siten, että laitesijoittelut- ja ratkaisut antavat tuotannolle muutosmahdollisuuksia tuotereititysten suhteen. Ehdotuksen tulee olla lyhyellä aikavälillä, kohtuullisin kustannuksin toteutettavissa oleva malli, jonka edellyttämät muutostyöt voidaan toteuttaa osittain sekä tuotannon toiminnan että osittain lomapysähdysten aikana.

Työssä huomioidaan osastolla käsiteltävien tuotteiden mallit, layout-ratkaisun vaikutus niiden laatuun ja valmistusmenetelmiin sekä työssä viihtyvyyteen, jotka muodostuvat ympäristö-, terveys- ja turvallisuuskäsitteistä. Työssä on pääasiassa rajattu pois kohdealuetta edeltävät ja seuraavat tuotantovaiheet sekä tuotannonsuunnittelu, huomioiden kuitenkin materiaalivirtojen sujuvat reitit kohteena olevan osaston sekä sitä edeltävän ja seuraavan tuotanto-osaston välillä.

## 1.2 Tutkimusongelmat ja käytetyt tutkimusmenetelmät

Nykytilanteen kartoittamiseen tarvittiin kattavasti kvantitatiivista tietoa valmistettavista tuotemalleista, valmistusmääristä, -reiteistä sekä itse prosessista. Olennaista oli myös huomioida lähitulevaisuudessa näkyvissä olevat uudet tuotemallit, niiden myyntimäärät sekä nykyisten mallien mahdolliset menekkimuutokset. Tietojen kartoittamisessa hyödynnettiin tuotteiden valmistusmäärä ja -reitianalyysijä sekä arvovirtakuvausta, joka on visuaalinen, yhden kuvan menetelmä esittää prosessin materiaali- ja informaatiovirtaukset sekä mahdolliset odotusvaiheet. Nykytilannetta kartoitettiin yhdistämällä prosessin tapahtumapaikalla havainnoitujen todellisten tapahtumien, tehtyjen haastattelujen sekä yrityksen sähköisestä tietovarastosta kerätty data. Arvovirtakuvausta laadittaessa esille nousi syventäviä kysymyksiä prosessin toiminnasta ja tunnusluvuista, joiden tarkempi tutkiminen oli olennaista määriteltävissä tarvittavien valmistuslaitteiden kokonaismäärää layout-ehdotuksessa. Näitä laitekohtaisia tunnuslukuja tutkittiin kohdennetusti soveltuvin menetelmin.

Itse prosessista, tuotteiden ominaisuuksista ja niiden asettamista vaatimuksista prosessille saatiin tietoa henkilöhaastatteluilla sekä havainnoimalla nykyistä toimintaa. Prosessin kehittämisen ja tuotelaadun parissa työskentelevät asiantuntijat kertoivat nykyisten ja uusien, testattujen tai testauksessa olevien tuotteiden valmistusprosessista, materiaaleista sekä layout-ratkaisuissa huomioitavista näkökohdista. Materiaalien kuljetusreittejä ja määriä kartoitettiin niin ikään haastatteleamalla osaston henkilökuntaa tarvittavista materiaaleista, käyttömääristä ja kuljetusreiteistä sekä yhdistämällä niitä sähköisen tietovaraston valmistusvolyymi- ja valmistusreititietojen kanssa. Nykyisen layoutin toimivuudesta kyseltiin näkemyksiä kohdealueen työntekijöiltä, jotka työskentelivät alueella eri laitteilla ja työtehtävissä. Tietoa kerättiin ensin kirjallisilla kyselyillä ja sitten kasvokkain tapahtuvilla puolijäsennellyillä haastatteluilla.

Kysymykset käsittelivät itse prosessia, siinä huomioitavia tekijöitä, turvallisuutta, työn sujumista, haasteita, toimiviksi koettuja ratkaisuja sekä mahdollisia toiveita tulevalle layout-ratkaisulle.

### 1.3 Työn rakenne

Työn kirjallisuusosion katsaus koostuu kolmesta teoriakokonaisuudesta: tuotannon johtamisessa huomioitavista tekijöistä sekä Leania ja layout-suunnittelua käsittelevistä osioista. Luvun aluksi käsitellään valmistavan yrityksen tuotantoprosessissa huomioitavia tekijöitä ja kuvataan erilaisia layout- ja tuotantotyyppejä sekä tuotteiden ominaisuuksien ja valmistusmäärien vaikutusta niihin. Lisäksi esitellään tämän diplomityön kannalta olennaisia tuotantoprosessissa esiintyviä käsitteitä. Luvussa tuodaan soveltuvin osin esille myös Toyotan toimintatapoja, jotta lukija saa näkemyksen Lean-periaatteiden mukaisesta toimintamallista.

Toinen luku jatkuu käsittelemällä Lean-periaatteita työn alkuosaa kattavammin. Aluksi kerrotaan Toyotan valmistussysteemin periaatteista ja ideologiasta joka taustoittaa Lean-termiä. Tämän jälkeen esitellään ns. Lean-talo ja systeemiajattelu, jotka ovat olennaisia asioita edesauttamaan Lean-periaatteiden ymmärtämistä. Lean-talo kuvaa periaatteen tukirakenteita, jotka esitellään lyhyesti selventämään lukijalle Leanin kokonaisvaltaisuutta. Lean-periaatteiden käsittely jatkuu toiminnan erilaisia hukkia aiheuttavien tekijöiden kuvaamisella. Lean-osuuden lopuksi esitellään arvovirtakuvaus sekä sen yhteys Leaniin.

Toisen luvun viimeinen teoreettinen katsaus esittelee layout-suunnittelun periaatteita, huomioitavia näkökohtia ja suunnittelun tavoitteita. Osuudessa kerrotaan layout-suunnittelun ja siihen liittyvän ongelmanratkaisun vaiheista, suunnittelun lähtökohtana tarvittavista tiedoista ja niiden analysointi- ja kuvausmenetelmistä sekä Lean-periaatteita tukevista layout-ratkaisuista.

Luvun päättää yhteenveto työn toteutusta ohjanneesta teoriakokonaisuudesta. Luvussa esitetään tuotantoympäristön ominaisuuksien, Lean-periaatteiden sekä layout-suunnittelua ohjaavien periaatteiden yhteyttä toisiinsa nähden ja niiden vaikutuksia layout-ratkaisuihin.

Työn kolmannessa luvussa esitellään kohdeyrityksen valmistusprosessi ja valmistettava tuote sekä kerrotaan työn toteutuksessa menetelmänä käytetystä tapaustutkimuksesta. Tutkimusaineiston keräämisessä käytettyjä menetelmiä kuvataan myös tiivistetysti.

Neljäs luku käsittelee tämän diplomityön varsinaista kohdeosastoa ja tutkimustuloksia. Kappaleessa esitellään aluksi nykyinen layout, siellä tapahtuvat prosessit ja materiaali-virrat sekä kerrotaan nykyisen layoutin haasteista.

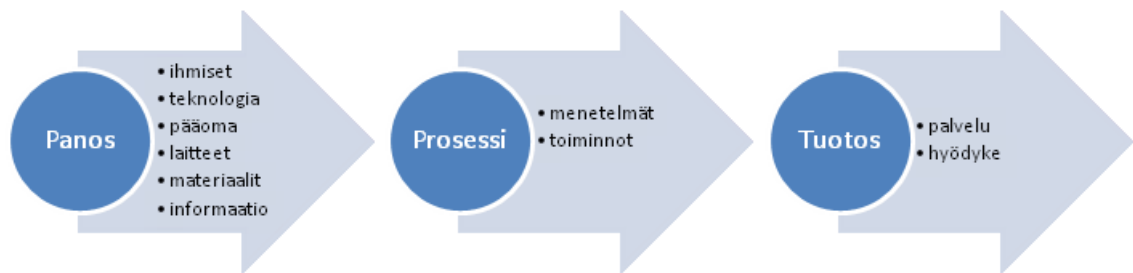
Kappale jatkuu kuvaamalla toteutettu layout-suunnitteluprosessi, saadut tutkimustulokset sekä niiden pohjalta suunniteltu uusi layout täydennettynä layoutiin liittyvillä muilla ratkaisuehdotuksilla. Kappaleen lopussa kerrotaan layoutratkaisun taustoista sekä esitetään tiivistetysti uuden layoutin edellyttämät muutokset.

Työn yhteenvedossa tiivistetään työn olennaisimmat tulokset sekä arvioidaan itse työn toteutustapaa ja -menetelmiä sekä validiteetin että reliabiliteetin näkökohdista. Kappaleessa esitetään myös ehdotuksia jatkokehitystyötä varten.

## 2. KIRJALLISUUSKATSAUS

### 2.1 Operaatioiden johtamisen periaatteita

Operaatioiden johtaminen viittaa niiden prosessien systemaattiseen suunnitteluun, ohjaamiseen ja kontrollointiin, jotka muuntavat Kuvassa 1 esitetyn mukaisesti panokset hyödykkeiksi tai palveluiksi sisäisille ja ulkoisille asiakkaille. Se käsittää kaikkien organisaatioiden prosessit, sisältäen sekä strategisen että taktisen tason päätöksiä ja vaikuttaa siten yrityksen lyhyen, keskipitkän ja pitkän aikavälin toimiin. (Krajewski *et al.* 2005; Robbins *et al.* 2011).



**Kuva 1.** Operaatiotoiminnot systeeminä (mukaillen Robbins *et al.* 2011, s. 400).

Johtamisessa olennaista on yrityksen liiketoimintaympäristön tunnistaminen, joka antaa edellytykset päättää, miten organisaatio voi ylläpitää ja kehittää kykyään vastata nyt ja tulevaisuudessa asiakkaan kysyntään parhaalla mahdollisella tavalla. Asiakkaiden, tuotteiden, kilpailijoiden ja niiden yhteys yrityksen taloudellisiin tuloksiin luovat pohjaa strategiselle suunnittelulle. Lyhyen aikavälin taktisten päätösten tulee tukea pitkän aikavälin strategisia päätöksiä, sillä ne luovat pohjan strategisten päätösten toteutumiselle. Taktiset päätökset muodostuvat esimerkiksi henkilöstön ja muiden resurssien suunnitteluun liittyvistä kysymyksistä. (Krajewski *et al.* 2005; Pound *et al.* 2014).

Yrityksen layout-päätökset ovat esimerkkinä strategisista päätöksistä, jotka vaikuttavat yrityksen pitkän aikavälin toimintatehokkuuteen. Layout vaikuttaa yrityksen kapasiteettiin, kustannuksiin, toiminnan joustavuuteen, työssä viihtyvyyteen, tuotelaatuun, toimitusvarmuuteen ja siten yrityksen kokonaissuorituskykyyn. Hyvin toteutettu layout tukee valmistusprosessin tyypistä riippumatta kustannusten hallintaa, joka on markkinaosuuden muodostamisessa ja säilyttämisessä kriittistä. Nämä puolestaan auttavat yritystä vastaamaan tulevaisuuden näkymiin. (Vonderembse *et al.* 1996; Heizer *et al.* 2014)

## 2.2 Tuotannon johtaminen

Operaatioiden johtaminen tuodaan organisaation jokaiselle tasolle, kuten tuotantotasolle, joka vastaa panoksen fyysisestä muuttamisesta tuotteeksi. Tuotantoprosessissa materiaalit muutetaan hyödykkeiksi, joilla on jonkinlainen tietty muoto ja malli. Muutoksessa materiaalia työstetään tiettyyn mittaan, muutetaan sen muotoa tai fyysistä ominaisuutta, viimeistellään pintaa tai liitetään osia tai materiaaleja toisiinsa. (Krajewski *et al.* 2005)

Layout määritellään ihmisten, laitteiden, varastojen ja materiaalien ja niiden käsittelylaitteistojen sekä muiden tukitoimintojen optimaaliseen järjestykseen asetetuksi kokonaisuudeksi. (Moore 1962) Prosessityypit jaetaan tuote- tai prosessilayoutiksi, riippuen miten koneet ja tuotanto-osastot ovat toisiinsa nähden sijoitettu ja järjestetäänkö resurssit, kuten ihmiset ja koneet, prosessin ympärille vai päinvastoin (Vonderembse *et al.* 1996; Krajewski *et al.* 2005). Lisäksi tunnistetaan niin kutsuttu kiinteän aseman layout, jossa valmistettava kappale pysyy paikoillaan ja kaikki resurssit tuodaan kappaleen luokse (Moore 1962).

**Tuotelayout**, eli toistuvan prosessin layout on ominainen tuotannolle, jossa saman tai samankaltaisten tuotteiden valmistusmäärät ovat suuret, kuten paperin valmistus (Vonderembse *et al.* 1996). Valmistuslaitteet on asetettu lineaarisesti prosessivaiheiden mukaiseen järjestykseen siten, että ristikkäissuuntaisia tai takaisinpäin suuntautuvia siirtoja ei tehdä ja resurssit on sijoitettu tuotteen ympärille. Linjan muoto voi vaihdella, esimerkiksi U-, L- tai S-kirjaimen muodossa (Krajewski *et al.* 2005).

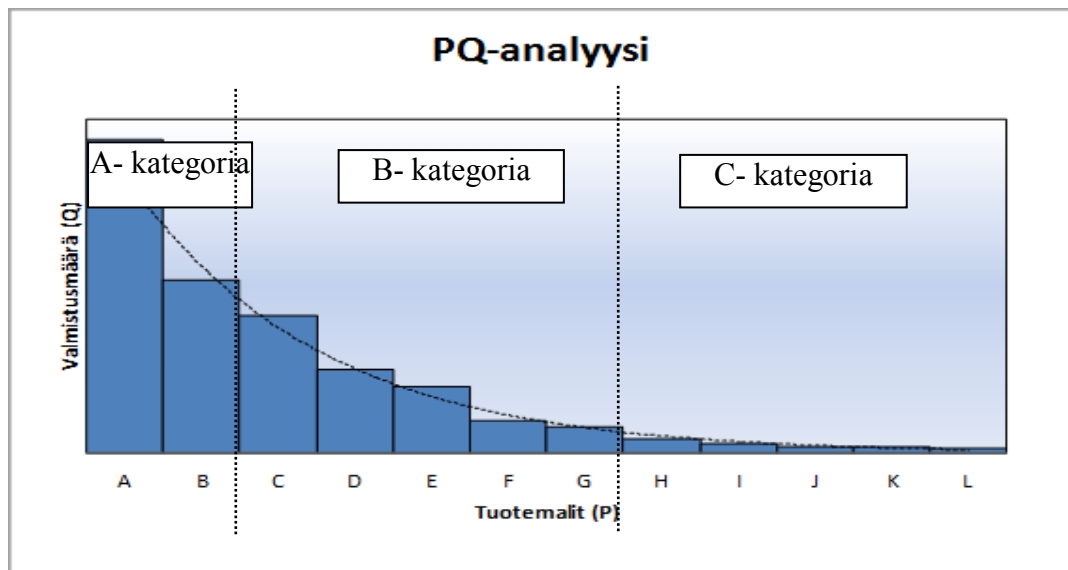
**Prosessilayoutille** tyypillistä on tuotelayoutin prosessityyppistä matalampi valmistusmäärä, mutta suurempi tuotevariaatioiden määrä, jotka valmistetaan keskenään samoilla laitteilla. Hallitsevaa materiaali virtaa ei ole, koska yhdenkään tuotteen valmistusmäärä ei yksin riitä työllistämään laitteita riittävästi. Laitteet on sijoitettu siten, että samanlaiset tai samankaltaiset laitteet ovat ryhmissä. (Vonderembse *et al.* 1996) Tarvittava valmistusmäärä suunnitellaan tuotantolaitteille siten, että laitteet ovat tasaisessa käytössä. Eri osastojen keskinäiset välimatkat tulee pitää kohtuullisina turhan liikenteen ja materiaalinkäsittelytarpeen välttämiseksi ja ne tulisi järjestää prosessivaiheiden mukaiseen järjestykseen. (Singh 2012)

**Kiinteästi järjestetty layout** sopii etenkin projektiluontoiselle tuotantotyyppille, jossa valmistettavien kappaleiden ominaisuudet estävät niiden siirtelyn paikasta toiseen. Tätä layout-tyyppiä käytetään, kun valmistettava tuote on esimerkiksi erityisen suuri tai sen siirtely prosessivaiheelta toiselle on mahdotonta tai erittäin epäkäytännöllistä. Tällöin työntekijät, laitteet ja materiaalit tuodaan valmistettavan tuotteen luokse. (Eilon 1962; Moore 1962; Krajewski *et al.* 2005; Santos *et al.* 2006)

Käytännössä layoutit ovat usein erilaisten layouttien yhdistelmiä, eli **hybridi- tai yhdistelmälayoutteja**. Hybridilayout on tyypillinen ympäristössä, jossa on sekä valmistusta kokoonpanotoimintaa ja komponentit valmistetaan raaka-aineesta alkaen. Materiaalien virtaus voi olla komponenttien valmistusalueella sekavaa, mutta kokoonpanosastoilla suoraviivaista. Hybridi on käytetty malli myös toiminnoissa, jotka on järjestetty yhden henkilön, monen laitteen muodostamaksi tuotteiden valmistussoluksi. (Moore 1962; Krajewski *et al.* 2005)

### 2.2.1 Tuoteryhmittely tuotantotyyppin valinnassa

Tuotantoresurssien jakamisessa voidaan käyttää tuotteiden menekkiin pohjautuvaa ryhmittelyä, PQ-analyysiä (engl. Product Quantity), joka auttaa erottamaan toistuvasti valmistettavat tuotteet harvemmin valmistettavista ja tuotantoresurssien määrittelemisessä kysyntää vastaavaksi. Kuva 2 osoittaa miten analyysissä kuvataan tuotteiden valmistusmäärät laskevassa järjestyksessä.



**Kuva 2.** PQ-analyysi (mukaillen Muther *et al.* 2015, s. 3.3).

Mikäli PQ-analyysi osoittaa, että tuotemallien menekki laskee, kuten Kuvassa 2 esitetynä melko loivana kuvaajana suuresta pienimmän menekkin tuotemalliin, on järkevää yhdistellä tuotteita valmistettavaksi erilaisia tuotantotyypppejä yhdistelevässä layoutissa. Tällöin tuotemallit on käytännöllistä yhdistellä kolmeen eri kategoriaan, joka määrittää niiden valmistustavan. A-kategorian tuotteet muodostavat valmistusmäärästä 70 prosenttia, joten ne on perusteltua valmistaa omalla valmistuslinjalla. Mitä alemmalle tasolle tuotteen valmistusmäärä analyysissä tippuu, sitä todennäköisimmin ne tulisi valmistaa yksittäiserissä tai – kappaleina. C-ryhmä on tyypillisesti tuotemäärältään laajin, muodostaen valmistusmäärästä kuitenkin vain viisi prosenttia. Menekiltään näiden kahden ääripään väliin jäävistä, niin kutsuttujen B-ryhmän tuotteista, voidaan muodostaa tuoteryhmiä jotka yhdessä muodostavat valmistusmäärästä 25 prosenttia.

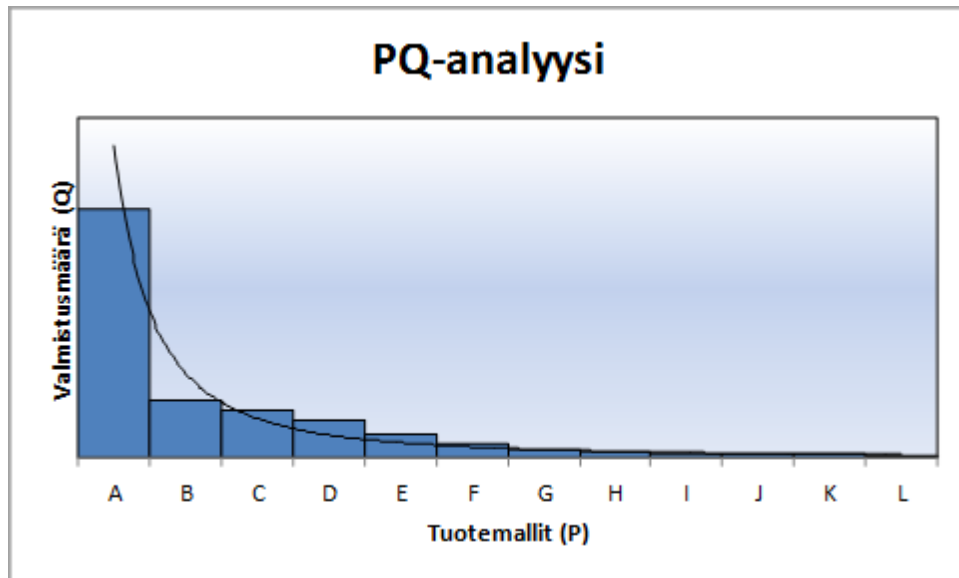
Tällöin tuoteryhmän tuotteet voidaan valmistaa keskenään samalla laitteella, kuten räätälöidyllä valmistuslinjalla tai solutuotantona. PQ-analyysi perustuu nimenomaan tuotemenekkiin kappaleina tai yksikköinä – ei liiketuottoon, sillä esimerkiksi A- kategorian tuotteet eivät välttämättä ole suurinta voittoa tuottava tuoteryhmä. (Baudin 2002; Muther *et al.* 2015)

Kirjallisuudessa (Rother *et al.* 2001), esitetään menekin lisäksi neljää muuta tarkastelunäkökohtaa tuoteryhmittelyn avuksi:

1. Työn sisältö. Määräävänä tekijänä on tuotteen toimintojen edellyttämä aika, joka tarvitaan yhden kappaleen valmistamiseen tuotantoprosessin alusta loppuun saakka. Toimintojen kokonaisaikojen ei tulisi poiketa toisistaan suuresti, sillä suuri vaihtelu valmistusajassa tekee sujuvan materiaalivirtauksen ja tehokkaan työn tuottavuuden saavuttamisen haasteelliseksi.
2. Prosessien ja valmistuslaitteiden samankaltaisuus. Hyvin eri tavoin valmistettavat tuotteet aiheuttavat suuria haasteita tehokkaalle työskentelylle ja sitä kautta tavoitellulle tuottavuustasolle. Tämä johtuu siitä, että eri tavoin valmistettavat tuotteet edellyttävät toistuvaa tarvetta jättää joitakin työvaiheita väliin tai vaihtoehtoisesti muuttaa asetuksia.
3. Jaksoaika. Kuvaa vaadittua aikaa tuotteen valmistumiselle.
4. Asiakkaan sijainti. Tällä tarkoitetaan asiakkaiden laajaa maantieteellistä hajaantumista. Tällaisessa tilanteessa tuotteiden valmistus on kannattavaa jakaa asiakkaittain siten, että valmistus tapahtuu lähellä asiakasta. Tämä näkökanta korostuu etenkin silloin kun kuljetuskustannukset ovat suuret. (Rother *et al.* 2001)

Muita jaotteluperusteita ovat esimerkiksi tuotevariaatioiden määrä, fyysinen koko ja muoto, asiakaskohtaisen räätälöinnin aste, varasto- tai tilausohjautuva valmistaminen, kysynnän vakaus ja tilausten taajuus. (Corke 1977; Sule 2009)

Kun tuotemallien menekkien määrät eroavat suuresti ja PQ-kuvaaja on syvä kuten Kuvassa 3, tulee tuotteet jakaa valmistustyyppiltään kahteen kategoriaan siten, että suuren valmistusmäärän tuotteet valmistetaan massatuotantona (Muther *et al.* 2015).




**Kuva 3.** Syvä PQ-kuvaaja (mukaillen Muther et al. 2015, s. 3.5).

Puhtaasti tuotemenekkiin perustuva jako on käytännöllinen ratkaisu myös silloin, kun analysoitavat tuotteet ovat keskenään hyvin samankaltaisia. Tällöin selkeästi yksittäiserinä tai -kappaleina valmistettavat tuotteet erotetaan massatuotantona valmistettavista malleista. Näillä valmistusalueilla on näin ollen eroavaisuuksia käsittelymenetelmissä, laitekannassa ja henkilöstön osaamisvaatimuksissa. (Muther et al. 2015)

Yleisesti ottaen tuotantotyyppin valinnassa pääsääntö on, että korkean menekin tuotteet valmistetaan automatisoidusti ja alhaisen menekin tuotteet manuaalitoiminnoilla. (Sule 2009) Tuoteominaisuuden vaikutus tuotantotyyppin valintaan on esitetty Kuvassa 4.



PROSESSI	OMINAISUUDET			
	Valmistus- määrä	Tuotemal- lien määrä	Tuote- virtaus	Laitteisto
<b>1. Jatkuva virtaus tai massatuotanto</b>	Korkea	Standardi	hallitseva	Varta vasten suunniteltu
<b>2. Linjatuotanto</b>		Standardi pienin muutoksia	hallitseva	Varta vasten suunniteltu
<b>3. Erätuotanto</b>		jotain eroavai- suuksia	hallitseva	Jotain jousto- varaa
<b>4. Joustava valmistusjärjestelmä tai tuotantosolu</b>		Kohtalaisesti eroavai- suuksia	hallitseva	Joustava
<b>5. Työ</b>		Merkittäviä eroavai- suuksia	satunnainen	Joustava
<b>6. Projekti</b>	Yksi	Ainutlaatuinen	ei mahdollista	Joustava

**Kuva 4.** Valmistettavan tuotteen vaikutus tuotantotyypin valintaan (mukaillen Vonderembse et al. 1996, s. 264; Sule 2009; Stevensson 2012).

- Jatkuvalle tuotannolle** tunnusomaista ovat korkea kysyntä ja valmistusmäärä, sekä materiaalin jatkuva virtaus läpi tuotantoprosessin. Olennaista on, että virtaus tapahtuu toistuvalla, tasaisella syklillä. Jatkovaa tuotantoa voidaan tarkastella kahdella tapaa: massatuotantona tai jatkuvan virtauksen tuotantona (Eilon 1962; Corke 1977).

**Massatuotannossa** valmistettavat kappaleet ovat yksittäisiä, keskenään samantyyppisiä kappaleita, mutta valmistuslaitteet ovat räätälöitävä juuri näiden kappaleiden valmistusta vastaaviksi, jolloin investointitarpeet työkaluihin ovat suuret. Laitteet ovat kuitenkin helposti muunneltavissa myös muunlaisen kappaleen valmistukseen, mikäli sen valmistusmenetelmä ei muutu. Usein koko tehdas ja sen laitteet on omistettu yhden tuotteen valmistukselle. Tuotantoprosessin työtehtävät on pilkottu pieniin osiin, jotta saavutetaan suuri tehokkuus ja korkea tuottavuustaso optimoimalla eri vaiheiden menetelmät ja työkalut. Työn edellyttämä ammattitaito ei ole kovin korkea, työ on toistuvaa erilaisten työtehtävien vähäisen määrän vuoksi ja automaation taso suuri. (Eilon 1962; Sule 2009)

**Jatkuvan virtauksen** prosessi tarkoittaa käytännössä yhden tai korkeintaan muutaman tarkkaan standardisoidun tuotteen valmistusta suurina määrinä. Tyyppisimmillään jatkuvassa prosessissa yksi pääraaka-aine tai materiaali virtaa prosessin pysähtymättä vuorokauden ympäri vuoden jokaisena päivänä. (Krajewski et al. 2005) Tuotantolaitteet on tehty juuri tietyn tuotteen valmistusta varten ja niiden modifiointi on monimutkainen ja kallis hanke, sillä se edellyttää yleensä koko layoutin ja laitteiston uusimisen (Eilon 1962).

2. **Linjaprosessissa** resurssit rakennetaan tuotteen ympärille, sillä tuotevolyymit ovat suuria, tuotevariaatioita niukasti ja niiden malli on pitkälle standardisoitu. Valmistusta ei ole linkitetty puhtaasti tilausohjautuvaksi, sillä standardiosia voidaan valmistaa ennakoon varastoon ollakseen valmiina odottamassa tilauksen tullessa. Tuote liikkuu linjalla tietyllä nopeudella prosessivaiheelta toiselle, kunnes se on valmis (Krajewski *et al.* 2005).

**Erätuotannossa** valmistettavat tuotteet eivät välttämättä ole keskenään samanlaisia, mutta ne ovat samankaltaisia, jolloin myös eri työvaiheiden kestot poikkeavat toisistaan. Tuotevariaatioiden määrä on niin laaja, että yhtä laitetta tai laiteryhmiä ei voida pyhittää vain jollekin yhdelle tuotteelle. Valmistuksen eräkoot ovat tyypillisesti suuria, sillä koneiden edellyttämä asetuksenteko saattaa olla monimutkaista, erityistä ammattitaitoa vaativaa tai aikaa vievää. (Corke 1977; Krajewski *et al.* 2005) Tuotteita valmistetaan joko tietylle tarpeelle tai vastaamaan jatkuvaa tarvetta ja tarve määrittelee valmistettavan erän koon riippuen, onko kyseessä sisäinen vai ulkoinen asiakas (Eilon 1962).

4. **Joustava valmistusjärjestelmä.** Samanlaiset toiminnot tai laitteet on ryhmitelty yhteen tyypillisesti osastoiksi. Esimerkiksi kaikki maalaustoiminnot tehdään samalla osastolla. Tämä layout on tyypillinen prosesseissa, joissa valmistusmäärät ovat alhaisia. Haittapuolena on, että tuotevirtaus saattaa olla sekavaa, kun prosessit ovat toisistaan erillään. (Moore 1962; Krajewski *et al.* 2005)

**Solutuotannossa** iso määrä työvaiheiden tai tuoteperheiden perusteella ryhmiteltyjä tuotteita valmistetaan solussa, joka sisältää kaikki tarvittavat laitteet tuon tuoteriikkeen tuotemallien valmistamiseksi (Sule 2009; Stevensson 2012). Solulayout edustaa layouttia jossa työpisteet on ryhmittely keskenään tukemaan virtaviivaista virtausta joko U- tai O -kirjaimen muotoon (Krajewski *et al.* 2005). Kun jokaista osaa tai tuotetta tarvitaan suuria määriä, solut voivat olla lähes täysin automatisoituja, joka tekee solusta joustavan. Kokoamalla samanlaiset osat soluun tehtäväksi, koneen asetusajaa voidaan vähentää ja tuotannon läpäisyajaa tehostaa. Työntekijät voivat kohdentaa taitonsa tiettyjen tyyppisten osien valmistukseen, jolloin myös laatu ja tuottavuus työpisteessä kehittyvät. (Sule 2009)

Yhdestä operaattorista ja useista laitteista muodostuva solu on toimiva malli, kun tuotteiden volyymi on niin alhainen, että se ei riitä työllistämään useita työntekijöitä. Perusidea on, että yksi operaattori käyttää solussa olevia laitteita osittain samanaikaisesti siten, että saavutetaan virtaviivainen materiaalivirtaus. (Krajewski *et al.* 2005) Solutuotannon tehokkuus perustuu nopeiden vaihtojen tavoitteluun tuotteesta toiseen ja oikean kokoisiin sekä helposti liikuteltaviin ja uudelleen sijoitettaviin laitteisiin. Tehokas solutuotantomalli edellyttää, että siellä valmistettavat tuotteet ovat valikoituneet solussa valmistettavaksi niiden samanlaisen prosessiominaisuuksien pohjalta. (Stevensson 2012)

5. **Työkohtainen prosessi** pystyy tarjoamaan laajalti erilaisia tuotevaihtoehtoja, sillä yhdenlaista tuotemallia on valmistusmäärältään vähän, henkilöstö ja laitteisto ovat joustavia suoriutumaan erilaisista työtehtävistä ja tuotteiden valmistus on tilausohjautuvaa. (Krajewski *et al.* 2005)

Työkohtainen valmistus sopii ympäristöön, jossa valmistetaan useita tuotteita ja jokaista niitä suhteellisen pieniä määriä. Tuotteet räätälöidään asiakastoiveiden mukaan, jolloin työvoiman on oltava ammattitaitoista ja laitekannalta edellytetään erilaisien yleiskäyttöisten koneiden, työkalujen ja työtarvikkeiden yhdistelmää. Samanlaiset koneet voidaan niputtaa osastoiksi. Tuotteet kulkevat osastolta toiselle toimintojen vaatiman ajan mukaisesti. Työkohtaisen tuotannon haasteena ovat useista eri työkaluista ja muoteista aiheutuva kustannusten kertyminen ja toistuvat materiaalinkäsittelyt, kun osia siirretään osastolta toiselle. Haasteena voi olla myös laitteiden toimintojen edellyttämien aikojen tasapainottaminen ja siten tehokkaan käyttöasteen turvaaminen. Aika, joka käytetään varsinaiseen valmistustyöhön saattaa olla matala useiden asetuksenteko- ja materiaali siirtelyjen tarpeen vuoksi. Tehtaan automaatiotaso on matala, mutta tuotannon suuri joustavuus valmistaa laaja-alaisesti erilaisia tuotteita tekee siitä kyvykkään vastaamaan kysynnän muutoksiin. (Sule 2009)

6. **Projekti- tai kappaletuotantoa** kuvaa tuotteiden korkea asiakaskohtaisen räätälöinnin taso ja matalat valmistusmäärät. Tuotemallien määrä on tavallisesti suurempaa erätuotantoon nähden. Tyypillistä on, että resurssit vapautuvat, kun työ on valmis. Projekti- tai kappaletuotanto on prosessityyppinä haasteellinen, sillä työtehtävät suoritetaan tarkasti siten, että saadaan valmistettua juuri asiakkaan haluama yksilöllinen tuote. Esimerkkeinä tästä tuotantotyyppistä ovat laivanrakennus, sillat ja materiaalinkäsittelylaitteistot. (Eilon 1962; Corke 1977; Krajewski *et al.* 2005)

## 2.2.2 Tuotannon kapasiteetti

Tuotantotyyppin valinnan jälkeen on määriteltävä tehtaan kapasiteetti, eli se määrä kappaleita, jonka tuotannon on kyettävä vastaanottamaan, varastoimaan ja valmistamaan tietyssä ajassa. Kapasiteettipäätöksillä vaikutetaan tuotannon kykyyn vastata asiakkaan kysyntään lyhyellä, keskipitkällä ja pitkällä aikavälillä. Suunniteltu kapasiteettitaso kuvataan usein prosessin maksimaalisena tuotantomääränä aikayksikköä kohden ilman häiriö- tai poikkeustilanteita ja tehokkaalla kapasiteetilla kuvataan puolestaan sitä todellista tasoa, jonka organisaatio odottaa saavuttavansa vallitsevissa olosuhteissa. (Heizer *et al.* 2014)

Kapasiteettia ei välttämättä ole tarpeen määritellä täsmälleen samalle tasolle asiakaskysynnän kanssa, jolloin siinä ei ole yhtään joustovaraa kysynnän mahdollisesti kasvessa (Vonderembse 1996). Oikea tavoite ei siis ole pyrkimys nostaa tuotannon kapasiteettia niin ylös, että koneet, laitteet ja työntekijät ovat jatkuvasti täynnä työtä, sillä mikäli mikään näistä mainituista ei milloinkaan ole odotustilassa, siitä seuraa, että loppuasiakas odottaa (Pound *et al.* 2014).

Lean-periaatteen ja niin sanotun perinteisen toimintamallin eroavaisuudet kapasiteetin hyödyntämisessä esitetään Kuvassa 5. Perinteisen ajatustavan mukaan kaikki käytettävissä oleva kapasiteetti tulisi hyödyntää tehokkaasti, eikä resursseja saisi pitää joutokäynnillä.

Lean-periaatteen mukaan mitään ei kuitenkaan valmisteta, ellei sille ole tarvetta, josta seuraa aika ajoin kapasiteetin vaillinaista käyttöä. Ylimääräinen konekapasiteetti on tärkeää säilyttää kysynnän nousua varten. Toyotan periaate on, että ihmisten odottaminen on ylituotantoa parempi vaihtoehto. (Shingo 1989) Ideologia on siinä, että se mikä kapasiteetin täydellä käytöllä mahdollisesti säästetään, tuottavuuden heikentymisenä maksetaan. (Slack *et al.* 2010)



**Kuva 5.** Perinteisen (vasemmalla) ja Lean- toimintatavan (oikealla) eroavaisuudet kapasiteetin hyödyntämisessä (mukaillen Slack *et al.* 2010, s. 434).

Tuotannon päivittäinen kyky mukautua kysyntään on Toyotan tuotantofilosofian tarkoitus, joka tarkoittaa kykyä säädellä kapasiteettia kysynnän mukaan. Avainasioita ovat valmistuslinjojen joustavuus, pienet varastotasot, laitteiden keskinäinen sijoittelu, työntekijöiden ammattitaito ja työmenetelmien jatkuva kehittäminen. Valmistuslinjojen joustavuus antaa mahdollisuuden valmistaa päivittäin hyvin erilaisia tuotteita eri kysynnällä, jolloin varastotason on oltava pienet. Monitoimiset laitteet mahdollistavat, että ne voivat olla normaalitilanteessa vain osittaisessa kuormassa, jolloin niitä käyttää linjalla vain yksi työntekijä. Tuotannon kysyntä määrittää tarvittavan työntekijämäärän. Kysynnän noustessa lisähenkilöstöä palkataan käyttämään linjaa 100 prosentin tehokkuuden saavuttamiseksi siten, että laitteiden käyttö jaetaan henkilöiden kesken tasaisesti. Tämä edellyttää, että työntekijöiden on oltava monitaitoisia ja laitteiden helppokäyttöisiä, jotta uudet työntekijät oppivat niiden käytön nopeasti. (Monden 1983; Shingo 1989) Jopa laitteelle, jolla on ylimääräistä kapasiteettia, haetaan parannuksia, sillä suuremmalla laitekapasiteetilla ei ole tarpeen pelätä suurentuvia kustannuksia (Ohno 1988). Lyhyen aikavälin kysynnän kasvut on ratkaistu erottamalla ensimmäinen ja toinen työvuoro toisistaan neljällä tunnilla. Tämä ratkaisu mahdollistaa tuotannon kapasiteetin kasvattamisen lyhyiksi ajoiksi teettämällä ylityötä kahden vuoron välissä. (Shingo 1989)

### 2.2.3 Tuotannon virtaus

**Virtaus** on Lean-periaatteen perustermi. Se kuvaa tarkasteltavassa prosessissa käytettävien materiaalien reittejä ja resurssien liikettä. Varastointi tarkoittaa puolestaan materiaalin, resurssien tai informaation virtauksen pysähtymistä, eli odottamista. Nettovirtaus kuvaa valmistus- ja kysyntämäärän erotusta ja sen ollessa positiivinen, varastoarvot kasvavat ja päinvastoin (Tuominen 2010; Pound *et al.* 2014; Piirainen 2015). Virtausyksikkö on organisaatiossa jalostettava yksikkö, joka teollisuudessa tarkoittaa erilaisista raaka-aineista ja komponenteista jalostettavaa tuotetta. Virtausyksikön arvo määräytyy sen mukaan, kuinka suuri osa siitä ajasta, jonka yksikkö on prosessissa, lisää yksikön arvoa. Virtaustehokkuus kuvaa niiden prosessissa suoritettujen toimintojen aikaa, jotka lisäävät virtausyksikön arvoa suhteessa virtausyksikön läpimenoaikaan. Virtaustehokkuudessa kyse ei siis ole arvoa lisäävien toimintojen nopeuttamisesta, vaan arvoa tuottamattomien toimintojen poistamisesta. Virtaustehokkuutta ymmärtääkseen, on prosessia siten tarkasteltava nimenomaan virtausyksikön näkökulmasta (Modig *et al.* 2013).

Virtaukseen liittyvä yksikkö on **jaksoaika**, joka kertoo kuinka usein asiakas tarvitsee yhden kappaleen yrityksen valmistamaa tuotetta. Se on käytettävissä olevan tuotantoajan ja asiakkaan kysynnän välinen suhdeluku, jonka avulla valmistuksen virtaus voidaan synkronoida vastaamaan myytyä määrää. Suunniteltu jaksoaika on minimiaika tai vaihtoehtoisesti korkein mahdollinen kapasiteetti, jolle laite on suunniteltu. Jaksoaika on asiakkaalle merkityksellinen, sillä se vaikuttaa kokonaiskustannuksiin, tuotelaatuun ja toimitusvarmuuteen. Käytettävissä olevasta tuotantoajasta vähennetään suunnitellut tuotannon pysähdykset, jotta saadaan nettoaika, jolloin prosessi on käytettävissä valmistukseen. Jaksoaika on siis *suunniteltu* käytettävissä oleva aika, joka osoittaa miten hyvin tuotanto pystyy vastaamaan kysyntään. Toyota hyödyntää jaksoaikaa kapasiteetin hallinnassa siten, että kysynnän vaihdellessa alle laitteen maksimikapasiteetin, laitteen jaksoaikaa kasvatetaan vähentämällä työvoiman määrää. (Shingo 1989; Rother *et al.* 2001; Baudin 2002; Nash *et al.* 2008)

**Läpimenoaika** on se aika, joka kuluu yhden kappaleen virtauksessa koko prosessin läpi alusta loppuun (Rother *et al.* 2009). Kapasiteetti kuvaa läpimenoajan ylärajaa (Pound *et al.* 2014). Läpimenoaika voidaan ilmaista koko tuotantoprosessin, yksittäisen tuotanto-osaston, laitteen tai tuotteen osalta. Laskennassa huomioidaan vain hyvät valmistuneet kappaleet. (Hopp *et al.* 2011). Tilan layoutratkaisut, eli laitteiden ja varastojen sijoittelu toisiinsa nähden sekä käytettävissä olevaan tilaan nähden vaikuttavat tuotannon läpimenoaikaan. (Santos *et al.* 2006)

Valmistusprosessista ja valmistettavasta tuotteesta riippumatta, prosessissa vaikuttaa aina **vaihtelu** (Vonderembse *et al.* 1996). Vaihtelu on mitä tahansa, joka poikkeaa tavanomaisesta, ennakoitavasta tapahtumasta (Pound *et al.* 2014). Vaihtelun määrän suurentuessa prosessin suoritustaso heikkenee (Piirainen 2015). Kontrolloitu vaihtelu on suora seuraus päätöksistä, kuten valmistusmäärän lisäyksestä.

Satunnainen vaihtelu on puolestaan seurausta asioista ja tapahtumista jotka eivät ole välittömässä hallinnassamme (Hopp *et al.* 2011) ja sitä aiheuttavat niin sanotut satunnaistekijät tai erityisyyt. Satunnaistekijät ovat tilanteita, jotka tulevat yllättäen ja johon on miltei mahdotonta varautua. Erityisyyt ovat myös yllättäviä, mutta niitä varten voidaan luoda menettelyohjeita ja muita varotoimia, jolloin niiden aiheuttamaa haittaa voidaan minimoida. (Vonderembse *et al.* 1996) Kokoonpanolinjalla voidaan Simchi-Levin (2010) mukaan tunnistaa kaksi vaihtelutyyppeä, kone- ja työvaihtelu. Konevaihtelussa saman linjan eri laitteet vaativat saman tuotteen käsittelyyn eri ajan kuin toinen vastaava kone. Työvaihtelu puolestaan tarkoittaa, että yhdeltä ja samalta koneelta menee eri työtehtävien suorittamiseen eri ajat. Saman laitteen eri töiden vaatiman ajan vaihtelu aiheuttaa alhaisemman tuotantomäärän, kun tuotannon vaiheika kasvaa. Vaihtelu siis häiritsee tuotantolinjan suoritustasoa. (Simchi-Levi 2010) Kun vaihtelua esiintyy, todellinen suoritus ei täsmää parhaan teoreettisen ajatuksen kanssa, eivätkä kysynnän ja tarjonnan jaksoajat ole tasapainossa keskenään. Tuotelaadussa tai valmistujajoissa esiintyvä vaihtelu heikentää aina tuottavuutta. (Pound *et al.* 2014; Piirainen 2015) Olennaista on ymmärtää, mikä on tavoite ja miten suurta vaihtelu on tähän tavoitteeseen nähden, jotta voidaan asettaa realistiset tavoitteet (Santos *et al.* 2006).

## 2.3 TPS ja Lean

Toyotan tuotantojärjestelmän, eli TPS:n (engl. Toyota Production System) ydinidea on maksimoida asiakkaan kokema arvo ja eliminoida toiminnasta kaikki mahdolliset kustannukset. (Monden 1983; Lean Enterprise Institute). Sen sijaan, että keskitytään yksittäisiin osastoihin tai organisaatioihin, TPS:iin kuuluu turhien toimien poistaminen ja tuotteiden virtauksen optimoiminen koko arvoa tuottavan ketjun matkalla. Tämä edesauttaa luomaan prosesseja, jotka tarvitsevat toimiakseen vähemmän tilaa, aikaa ja työvoimaa, joka edesauttaa kustannussäästöjen saavuttamisessa. (Lean Enterprise Institute)

Tehtaan kokonaistuottavuutta ja liikevaihtoa kasvatetaan kustannuksia vähentämällä, jolloin resurssit on kohdistettava vain tilattuihin tuotteisiin, ei sellaisiin, joita ei ole tilattu (Monden 1983; Modig *et al.* 2013). Viimekädessä kyse on siitä, mitkä ovat liiketoiminnan kannalta *elintärkeitä asioita hitaan kasvun aikakautena*, eli miten tuottavuutta voidaan kehittää, kun kysyntä ja valmistusmäärä eivät kasva (Ohno 1988). Liiketoimintaympäristön kilpailu tekee markkinoista haastavampia, eikä ole itsestään selvää, että asiakas on valmis maksamaan tuotteesta aina vain enemmän. Tähän perustuu Toyotan länsimaiseen ajatusmalliin verrattuna käänteentekevä ajattelutapa tuotteen myyntihinnan ja kustannusten suhteesta:

- Länsimainen näkemys on, että kustannusten ja tuoton summa muodostavat tuotteen hinnan.
- Toyotan näkemys on, että hinnan ja kustannusten erotus muodostavat tuoton. (Dennis *et al.* 2007).

Liikevoittoa tavoitellaan nimenomaan kustannustehokkuudella, ei ensisijaisesti myyntihintaa nostamalla (Santos *et al.* 2006). Kustannusten alentamista ei kuitenkaan voi lopputtomiin tehdä karsimalla henkilöstöä, vähentämällä huolto- ja kunnossapitokustannuksia tai heikentämällä yrityksen kehitystä pitkällä tähtäimellä (Dennis *et al.* 2007). Toyotan tuotantojärjestelmässä asiakkaan toiveiden ymmärtäminen sekä tuotteen, toimitusajan että määrän suhteen on kustannussäästöjen kannalta olennaista, sillä säästöjä syntyy noudattamalla kolmea sääntöä (Modig *et al.* 2013).

Valmistamalla vain:

1. tarvittua tuotetta,
2. tarvitussa määrässä ja
3. tarvittuna ajankohtana (Monden 1983; Modig *et al.* 2013).

Kolme periaatetta muodostuu edelleen kolmesta alakohdasta:

- **määrällinen ohjaus** mahdollistaa järjestelmän sopeuttamisen kysynnän vaihteluihin sekä määrän että tuoteversion osalta.
- **laadunvarmistuksella** on tarkoitus varmistua, ettei yhdestäkään prosessista tai työvaiheesta toimiteta epäkuranttia materiaalia eteenpäin sisäiselle asiakkaalle.
- **ihmisyyden ja ihmisten kunnioittaminen** muodostuu ymmärryksestä, että tuotteiden valmistamiseen ja tehtaan toiminnan ylläpitämiseen tarvitaan ihmisiä ja toisten kunnioittaminen on sen vuoksi tärkeää.

Olennaista Toyotan valmistussysteemin ymmärtämisessä on, että mikään näistä edellä mainituista tekijöistä ei toteudu ilman toista. Kolmen päätavoitteen saavuttamiseksi myös kolmen alatavoitteen on toteuduttava ja päinvastoin. (Monden 1983) Kustannusten karsiminen edellyttää koko yrityksen henkilöstön sitoutumisen kehitystyöhön ja pienet varastot tuovat ongelmat nopeasti esille, pakottaen työntekijätasolta saakka lähtevään nopeaan reagointiin. Ongelmia ei ulkoisteta esimerkiksi laatuosastolle, vaan vastuu ja päätöksentekovaltuudet tuodaan työntekijätasolle. Tämä tekee reagoinnista perinteiseen valmistusmalliin verrattuna nopeampaa ja sitouttaa operaattoreita jatkuvaan oman työn kehittämiseen. (Simchi-Levi 2010) Lean-termi on James Womackin ja Daniel Jonesin kehittämä nimitys TPS:lle, kuvaten Toyotan tapaa toimia tekemällä mahdollisimman paljon, mutta mahdollisimman vähällä (Womack *et al.* 2003).

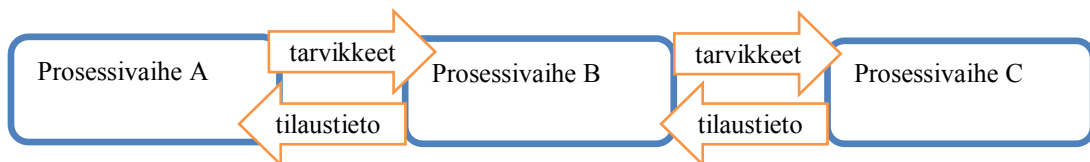
### 2.3.1 Lean-periaatteen mukainen valmistus

Kuva 6 esittää perinteistä toimintamallia, jossa prosessin jokainen vaihe tuottaa tarvikkeet väliavarastoihin, jotka samalla toimivat seuraavan prosessivaiheen puskureina. Seuraava prosessivaihe ottaa tarvikkeet jossain vaiheessa käsittelyynsä ja tuottaa ne jälleen seuraavaan väliavarastoon, joka toimii sitä seuraavan prosessivaiheen puskurina. Nämä puskurit eristävät prosessivaiheet toisistaan, tehden niistä toisiinsa nähden suhteellisen itsenäisiä. Edeltävän prosessivaiheen toiminnan hetkellinen häiriintyminen ei vaikuta heti seuraavan prosessivaiheen toimintaan. (Slack *et al.* 2010)



**Kuva 6.** Perinteinen valmistuksen toimintamalli (mukaillen Slack et al. 2010, s. 431).

Toyota esittää tuotantoprosessinsa jatkumona siten, että jokainen prosessivaihe edustaa sekä toimittajaa että asiakasta. Lopputuotteen tilanneen ulkoisen asiakkaan tilaus ohjaa koko tuotantoprosessia siten, että vain tilattua tuotetta valmistetaan. Samaa ohjetta noudatetaan läpi tuotantoprosessin. Eri prosessivaiheissa valmistetaan vain se, mitä seuraa va prosessivaihe, eli sisäinen asiakas tarvitsee. Ajatustapa, jossa myös prosessin eri vaiheita kuvitellaan sekä toimittajina että asiakkaina, edesauttaa tuotteen nopeaa virtausta ja arvon lisääntymistä prosessin jokaisessa vaiheessa. (Modig et al. 2013) Kuva 7 esittää Lean-periaatteen mukaisen valmistustavan, jossa tarvikkeet toimitetaan prosessivaiheesta toiselle tarpeeseen, eli ainoastaan kun seuraava vaihe sitä pyytää. Mahdolliset ongelmat näkyvät prosessin jokaisissa vaiheissa nopeasti. Edeltävän prosessivaiheen ongelma aiheuttaa nopeasti tarvikkepulaa seuraavassa vaiheessa ja vastaavasti seuraavan vaiheen ongelmat aiheuttavat tuotantopysähdyksen edeltäviin vaiheisiin, sillä välivarastojen puuttuessa, tarvikkeet eivät virtaa prosessissa eteenpäin. (Slack et al. 2010).



**Kuva 7.** Lean-periaatteen mukainen valmistustapa (mukaillen Slack et al. 2010, s. 431).

Lean-periaatteen tavoite on tehdä kaikista toiminnoista niin joustavia, että ainoa tuotannon laitteiden toteutuva käyttö tapahtuu asiakkaan lopputuotteen käyttömäärän perusteella (George 2002). Joustavuuden tarkoitus on luoda organisaatiolle kyky vastata kysynnän, tuotemallien, prosessien ja niiden toiminta-asteessa sekä tuotelaadussa esiintyviin muutoksiin (Simchi-Levi 2010). Tällainen valmistustapa edesauttaa tuotteiden sujuvan ja nopean liikkumisen työvaiheesta toiselle, vähentäen odotusaikaa ja keskeneräisen tuotannon määrää. Pitkät ja monimutkaiset prosessireitit lisäävät viivästymiä ja varastoja hidastaen tuotteiden läpimenoaikaa prosessissa, joten layoutin toimivuus ja sen arvioiminen on yksi tärkeä toimenpide virtaustehokkuuden kasvattamisessa. (Slack et al. 2010) Virtausnopeuden kasvaessa materiaalin käsittelyn ja siirron, sekä laitteistojen, hävikin ja uudelleen työstämisen kustannukset pienenevät (George 2002).



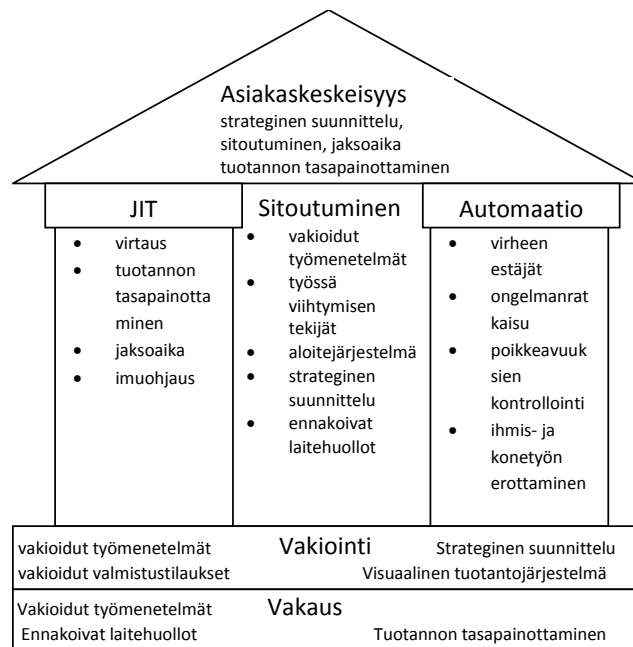
### 2.3.2 Systeemiajattelu

Arvon tuottaminen on asiakkaan näkökulmasta tuotteen valmistajan olemassaolon tarkoitus (Womack *et al.* 2003). Leanin periaate ei näin ollen ole kustannusten leikkaaminen tai varastojen pienentäminen *sisäisten* tavoitteiden saavuttamiseksi, vaan lisäarvon tuottamiseksi *asiakkaalle* (Byrne 2013). Tämän ymmärtäminen edellyttää organisaatiolta ajattelu- ja toimintatapojen muutosta, jossa pelkkien työkalujen implementoinnin sijasta on sisäistettävä uusi tapa ajatella työtä (Piirainen 2015). Systeemillä tarkoitetaan eri osista muodostuvaa kokonaisuutta, jolla on selkeästi määritelty tavoite. Systeemiajattelu on puolestaan kykyä ajatella ympäristöä järjestelmän kannalta, miten sitä pitäisi johtaa ja ohjata. Systeemiajattelun sisäistäminen on Leanin ymmärtämisen edellytys. Tavanomaisen ajattelutavan ja Lean-periaatteen eroavaisuuksia esitetään Taulukossa 1. (Dennis *et al.* 2007)

**Taulukko 1.** Perinteisen ja systeemiajattelun eroavaisuuksia (mukaiillen Dennis *et al.* 2007, s. 17).

Tavanomainen ajattelumalli	Systeemiajattelu
Valmistetaan tarvittava määrä	Pysäytä tuotanto, jotta tuotannon ei tarvitse pysähtyä. (Jidoka)
Tehdään niin paljon ja niin nopeasti kuin pystytään.	Tehdään vain se, mitä asiakas pyytää.
Käsitellään isoja sarjoja hitaasti järjestelmän läpi.	Tehdään yksi asia kerrallaan, joka siirretään nopeasti järjestelmän läpi. (virtaus)
Johtaja tarkoittaa pomoa.	Johtaja tarkoittaa opettajaa.
Käytetään joitakin standardeja, joita ei aivan muisteta.	Käytetään yksinkertaisia standardeja kaikkiin olennaisiin asioihin.
Asiantuntijoiden tehtävä on luoda standardeja ja kertoa työntekijöille, miten työ tulee tehdä.	Lähipä työtä olevat työntekijät luovat standardeja ja käyttävät asiantuntijoiden osaamista tarvittaessa apuna.
Virheitä ei ole helppo myöntää ja tunnustaa.	Ongelmat on tehtävä näkyviksi.
Tuotannossa näkyy vain työntekijöitä, ei asiantuntijoita.	Paras tapa toimia on mennä paikanpäälle ja todeta tilanne itse.
Toimiminen ja tekeminen ovat arvokkaita.	Suunnittelu, toteutus, varmistus ja toimiminen tulosten perusteella on järkevää toimintaa.

Pelkkä menetelmien tekninen osaaminen ja käyttäminen eivät tee toiminnasta Leania, vaan ensimmäisenä on oivallettava vallankumouksellinen ajattelutapa (Santos *et al.* 2006). Puhuttaessa Leanista, on huomioitava, että tuotannosta voi saada Leanin vain, kun materiaalihallinto, myynti, kunnossapito ja muut toiminnot ovat kehityksessä mukana, sillä ne kaikki vaikuttavat osaltaan tuotannon suoriutumistasoon (George 2002). Toimintojen keskinäinen suhde Lean-periaatteiden toteuttamisessa on kuvattu talon muodossa Kuvassa 8, jossa jokainen elementti sisältää joitakin menetelmiä kyseisen elementin toteuttamiseksi. (Dennis *et al.* 2007)



**Kuva 8.** *Lean-toimintatavan kokonaisvaltaisuus (mukaillen Dennis et al. 2007, s. 20).*

Vakaus ja vakiointi ovat Lean-periaatteen kivijalat. Seinät muodostuvat tuotteiden, komponenttien ja materiaalien JIT- valmistusperiaatteesta (engl. Just In Time) ja jidokasta, eli automaatiosta. Systeemin tavoite, eli katto on asiakaslähtöisyys, eli asiakkaan kokeman arvon maksimoiminen. Koko systeemin sydän on jatkuva kehitys ja parannus, sekä joustavat, motivoituneet ryhmän jäsenet, jotka jatkuvasti etsivät keinoja tehdä asiat paremmin. Jokainen osa on sidoksissa toisiinsa ja koko kokonaisuutta yhdessä pitävä voima on systeemiajattelu. (Dennis *et al.* 2007)

**Vakaus** kuvaa tekemisen ja toimintojen tasapainoa. Kehitys ei ole mahdollista ilman työntekijöiden, koneiden, työmenetelmien ja materiaalien välistä vakautta. Ennakoivan laitehuollon käytännöt ohjeistavat ja aikatauluttavat koneiden perushuoltotyöt, kuten tarkastukset, puhdistukset ja voitelut. Sen tarkoitus on ennaltaehkäistä sellaista koneen pysähdysaikaa, joka johtuu esimerkiksi sen rikkoutumisesta, alentuneesta nopeudesta tai prosessin aiheuttamista virheistä tuotteessa. (Dennis *et al.* 2007) Tarkoitus on myös tarjota työkalu suunnitelmalliseen laitepysähdykseen sekä kasvattaa operaattorin vastuuta käyttämästään laitteesta (Vonderembse *et al.* 1996).

Tuotanto tasapainotetaan siten, että työ voidaan tehdä sujuvasti koko prosessin matkalla, maksimoiden työntekijöiden ja laitteiden joustavuus. Tavoite on ajaa tuotantoa samalla rytmillä joka päivä ja minimoida työkuorman piikit ja kuopat. Järjestelmä kontrolloi keskeneräisen valmistuksen määrää ja edesauttaa vähentämään toimintakustannuksia ja löytämään laatupoikkeamat, kun mahdolliset virheet eivät kätkeydy suuriin varastoihin. Vähäisempi tarvikkeiden ja materiaalien liikuttelu edistää myös turvallisuutta. (Dennis *et al.* 2007)

**Vakiointi** kuvastaa organisaation tuntemaa turvallisinta, helpointa ja tehokkainta tapaa tehdä työtehtävät (Dennis *et al.* 2007). Vakioitu työ tarkoittaa, että kaikki tekevät saman työtehtävän täsmälleen samalla tavalla. Käytettävät työkalut, työvaiheiden kestot, ja käytettävät materiaalit on vakioitu (Byrne 2013). Standardisoidut työtehtävät tarjoavat perusteet ja pohjan parannukselle ja edesauttaa lisäämään lisäarvoa tuottavan työn määrää jokaisessa prosessivaiheessa (Dennis *et al.* 2007).

Työntöohjautuvassa tuotannossa jokainen tilaus vapautetaan prosessoitavaksi ja materiaalit työnnetään prosessin läpi ennalta suunnitellun aikataulun mukaisesti. **JIT-valmistus** hyödyntää puolestaan niin kutsuttua imuohjausta, jossa materiaalia valmistetaan todellisen tarpeen mukaan. (Vonderembse *et al.* 1996) Mitään, mitä asiakas ei ole tilannut, ei valmisteta (Dennis *et al.* 2007). Ajatusmalli lähtee asiakastilauksesta saakka siten, että lopputuote pitäisi saada kuvainnollisesti imaistua ulos tehtaalta. Toimintamallia sovelletaan läpi tuotantoprosessin alihankkijoihin ja toimittajiin saakka. (Vonderembse *et al.* 1996) Puhtaassa imuohjautuvassa systeemissä yrityksellä ei ole lainkaan varastoja ja se reagoi vain tilauksiin (Simchi-Levi 2010).

**Automaatio** tarkoittaa tässä yhteydessä älykkäitä ja kykeneviä työntekijöitä, jotka kantavat vastuuntuntoa työnsä laadusta, tunnistaen virheitä ja reagoiden niihin nopeasti vastatoimilla. Toyotalla tämä tarkoittaa virhevapaata tuotantoa, johon pyritään vahvistamalla prosessin kyvykkyyttä virheiden nopealla tunnistamisella ja rajaamisella sekä palauttejärjestelmällä nopeiden vastatoimien käynnistämiseksi. (Santos *et al.* 2006; Dennis *et al.* 2007) Virheen estämisen järjestelmät tarkoittavat alhaisen kustannuksen yksinkertaisia ratkaisuja, joilla havaitaan prosessin ilmiöitä ennen kuin niistä seuraa ongelmia tai ongelmien esiintyessä, ne pysäyttävät prosessin nopeasti (Dennis *et al.* 2007).

**Sitoutuminen** liikuttaa systeemiä. Yritysten on kyettävä joustamaan ja olemaan luova selviytyäkseen muuttuvilla markkinoilla, teknologian kehittyessä ja taloudellisen tilanteiden muuttuessa. Erilaiset ongelmat ovat päivittäisiä, jolloin organisaation jäsenten tietämys, kokemus, osaaminen ja luovuus ovat yrityksen elinehtoja. Näkyviä tavoitteita ovat laadun, tuottavuuden, kustannusten, toimitusaikojen, turvallisuuden, moraalin ja ympäristöasioiden kehittäminen. Ongelmat eivät lopu, joten organisaation jäsenten kyvykkyyden ja kykyjen kehittäminen on tarkoituksenmukainen päämäärä. Ihmisten kykyjä ja valmiuksia vahvistamalla luodaan paremmat edellytykset tulevien haasteiden kohtaamiseen. Kyse on ennen kaikkea strategisesta suunnittelusta, joka edellyttää ymmärrystä, missä organisaatio on nyt, minne se on menossa (visio), miten sinne päästään (suunnitelmat) ja mitä esteitä tiellä on. Suunnittelun tavoitteeksi asetetaan ne kriittiset ongelmat, jotka ovat yrityksen tiellä vaikeuttamassa tavoitteisiin pääsyä. (Dennis *et al.* 2007)

### 2.3.3 Hukka

Asiakkailla on myös muita kuin tuotteen laatuun, hintaan ja toimitusaikaan liittyviä arvoja. Markkinoilla korostuu toimittajan kyky huomioida myös ympäristöasioita, turvallisuutta, sekä työntekijöiden hyvinvointia. Jos organisaation toiminta ei edistä tuottavuuden, laadun, kustannusten, toimitusajan, turvallisuuden, ympäristöasioiden ja työn hyvinvoinnin kehittämistä, se on hukkaa. Hukka on toimintaa, josta asiakas ei ole halukas maksamaan. (Dennis *et al.* 2007)

Toyotan tunnistamia erilaisia hukan muotoja ovat muda, muri ja mura. Muda tarkoittaa kahdeksaa lisäarvoa tuottamatonta toimintaa (Liker 2004), jotka on esitetty seuraavaksi:

1. Liike tarkoittaa sekä ihmisen että koneen tekemiä turhia liikkeitä. Epäergonominen työskentely vaikuttaa tuottavuuteen, laatuun ja turvallisuuteen (Dennis *et al.* 2007).
2. Odotus kuvaa työntekijän eri syistä johtuvaa materiaalin, prosessin tai laitteen odotusaikaa. Viivästymä kasvattaa aikaa, joka kuluu siitä hetkestä alkaen, kun asiakas esittää tilauksen ja saa sen lopulta itselleen. (Baudin 2002; Santos *et al.* 2006). Myös työntekijän suorittama automaattikoneen valvonta on odotusta (Liker 2004).
3. Siirtely ja kuljettaminen ovat seurausta epätoimivasta layoutista, suurista laitteista tai erätuotantomallista, jossa isoja valmistuseriä siirrellään prosessivaiheelta toiselle (Dennis *et al.* 2007). Kuljetus ei tuota arvoa silloin kun se ei edesauta tuotteen virtausta prosessissa eteenpäin (Baudin 2002).
4. Virheet tai korjaaminen on seurausta huonosta laadusta ja siitä seuraa turhaa käsittelyä, joka kuluttaa resursseja, kuten aikaa, energiaa ja materiaaleja (Liker 2004; Dennis *et al.* 2007).
5. Yliprosessointi tarkoittaa, että tuotteesta valmistetaan ominaisuuksiltaan enemmän kuin asiakas edellyttää. Tuotteella tavoitellaan sellaisia ominaisuuksia, joita asiakas ei ole todellisuudessa pyytänyt. (Dennis *et al.* 2007). Tähän sisältyy myös tehoton työskentely, joka aiheutuu huonosti suunnitellusta tuotteesta tai työvälineistä (Liker 2004).
6. Varastointi on seurausta suuremmasta kuin tarvittavasta määrästä raaka-ainetta, osia, keskeneräistä tuotantoa tai valmiita tuotteita. Varastointitarve muodostuu, kun valmistuksen virtaus on rajoittunutta ja valmistuksen jaksoaikaa ei ole synkronoitu suhteessa myytyjen tuotteiden määrään. (Santos *et al.* 2006; Dennis *et al.* 2007).
7. Ylituotanto tarkoittaa tuotteiden valmistamista enemmän, nopeammin tai aikaisemmin kuin on tarve. Ihmiset ja laitteet ovat kiireisiä tekemään tuotteita joita ei ole tilattu. Suuret eräkoot aiheuttavat odotusaikoja, sillä tarpeettomia, valmiita tuotteita ei voida toimittaa asiakkaalle, joten ne on varastoitava. Tämä aiheuttaa ylimääräisten resurssien, materiaalien, energian käytön ja materiaalien käsittelylaitteistojen tarvetta, joka tarkoittaa, että ylituotanto on näin ollen syy myös muille hukan muodoille. (Dennis *et al.* 2007; Rother *et al.* 2009) Ylituotanto voi esiintyä myös toisenlaisena. Liikkuminen ei ole sama asia kuin työn tekeminen ja arvon lisääminen. Mikäli ihminen työskentelee jatkuvasti sen sijaan, että hän odottaisi, hän tulee työstäneeksi seuraavaa työtä, jolloin odotusaika on piilossa. Tämän toistuessa riittävän usein, hukan ja oikean työn erottaminen on vaikeaa ja alkaa muodostua varastoa. (Ohno 1988)

8. Käyttämättä tai hyödyntämättä jätetty luovuus aiheuttaa ajan, taitojen, kehityksen ja oppimismahdollisuuksien hukkaamista (Liker 2004).

Ylituotanto koetaan Toyotalla pahimpana hukan muotona, sillä se piilottaa alleen muita hukan muotoja (Ohno 1988). Tuotteen läpivirtausaika muodostuu pitkäksi ja lisäarvoa tuottavan työn osuus pienenee (Rother *et al.* 2009). Yritykset jatkavat usein työskentelyä täydellä kapasiteetilla vaikka työmäärä vähenisi, sillä ihmisiä ei haluta pitää joutokäynnillä. Täydellä kapasiteetilla työskentely ilman kysyntää on kuitenkin ylituotantoa, jota voidaan estää valmistamalla vain tarvittava määrä ja kehittämällä järjestelmä, jossa tehtävät tehdään aina minimimäärällä ihmisiä. Pelkkä työtehtävien kehittäminen odotusaikoja poistamalla on tarkoituksetonta, ellei niitä linkitetä ajatukseen käyttää laitteita minimimiehityksellä. (Shingo 1989)

Mura kuvaa epätasaisuutta kysynnän ja kapasiteetin välillä. Mura aiheuttaa mudaa. Kysynnän vaihdellessa kapasiteettia on toisinaan liikaa ja toisinaan liian vähän. Epätasaisuutta lisäävät myös sisäiset ongelmat, kuten koneiden rikkoutumiset, materiaali puutteet tai laatuvirheet. Tuotannon tasapainottaminen pyrkii huomioimaan juuri näitä tekijöitä. (Liker 2004)

Muri on hukan muoto, joka ilmaisee työntekijöiden ja koneiden ylikuormittamista, kun resurssit laitetaan työskentelemään äärirajoillaan, yli niiden sietorajan. Ylikuormittuneista resursseista aiheutuu turvallisuus- ja laatuongelmia. (Liker 2004)

Toiminnan hukkien tunnistaminen on tärkeää, mutta Lean ei ole vain hukkien etsimistä. Tarkoitus on tavoitella jatkuvaa virtausta, jonka päättä asiakas vetää ja vakautta, jotta virtauksen esteet tulevat esiin sekä visuaalista johtamista, jotta poikkeavuudet standardista tulevat esiin ja etenkin ihmisten mukaan ottamista kaikkiin näihin toimiin. (Dennis *et al.* 2007)

### 2.3.4 Arvovirtakuvaus

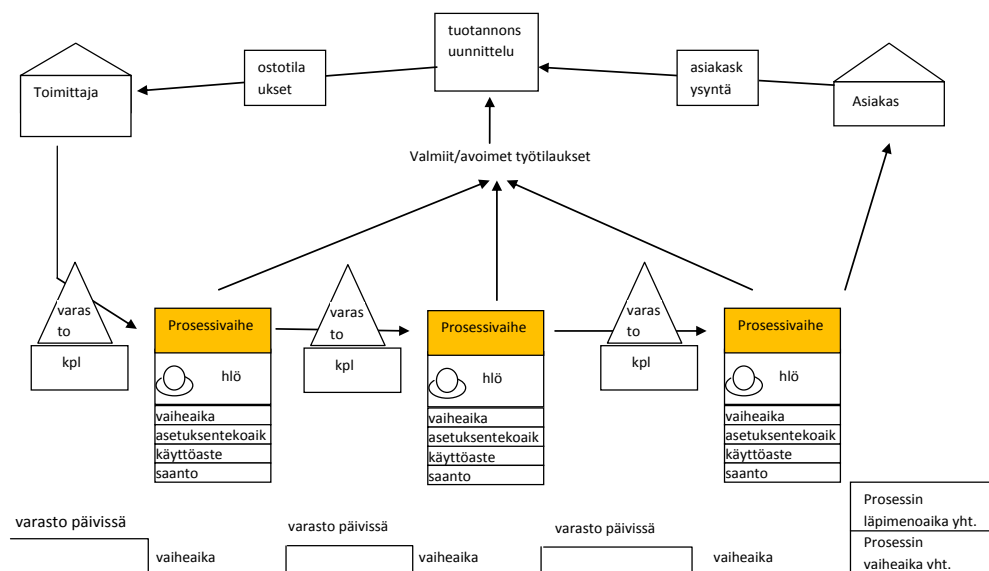
Lean-periaatteen mukaisessa valmistuksessa tavoite on tehdä vain asioita, jotka lisäävät arvoa (Womac *et al.* 2003). Arvovirta koostuu kahdesta pääosasta, kysynnästä ja materiaali resurssien muuntamisesta asiakkaan kysyntään vastaavaksi hyödykkeeksi. Tuotannossa arvovirralla tarkoitetaan arvoa tuottavien ja tuottamattomien toimintojen ketjua, joka vastaa tuotteen saattamisesta läpi välttämättömän ketjun raaka-aineesta valmiin tuotteen asiakastoimitukseen. (Nash *et al.* 2008; Rother *et al.* 2009; Pound *et al.* 2014)

Arvovirtakuvaus on visuaalinen liiketoiminnan suunnittelun, prosessien johtamisen ja muutoksen työkalu, jonka avulla voidaan kuvata, tunnistaa ja ymmärtää koko prosessin arvoa tuottavat ja tuottamattomat vaiheet ja toiminnot.

Kuvaus edesauttaa tyypillisen osastoperusteisen ajattelutavan ja yksittäisen prosessita-son tarkastelun muuttamista kokonaiskuvan tasolle. Kokonaiskuvan hahmottamisen li-säksi, hukkien tunnistaminen on tarkempaa, kun pystytään näkemään myös niiden taustat. (Rother *et al.* 2009)

Arvovirtakuvaus koostuu kolmesta tekijästä (Kuva 9):

1. Prosessin virtaus. Prosessi kuvataan karttana, joka muistuttaa perinteistä proses-sikaaviota. Tarkoitus on esittää prosessin virtaus tai sen puute vasemmalta oike-alle, erottaen varsinaisen pääprosessin erilliseksi osaprosesseista.
2. Informaation virtaus. Tämä tekijä erottaa arvovirtakuvauksen selkeimmin perin-teisestä prosessikuvauksesta. Kuvauksessa esitetään sekä virallinen että epäviral-linen informaatiiovirta ja ne kulkevat kuvauksessa tavanomaisesti sekaisin mihin tahansa suuntaan, ei vain vasemmalta oikealle.
3. Aikajanan ja välimatkan kuvaus on koko kuvauksen arvokas anti, jolla esitetään prosessin läpimenoaika ja eri vaiheiden jaksoajat raaka-aineen saapumisesta tuotteen toimittamiseen saakka. Mitä lyhyempi läpimenoaika, sitä nopeampi va-raston kierto (Rother *et al.* 2009). Aikajanan kuvaus tuo selkeästi esille arvoa tuottavan ja tuottamattoman työn osuuden koko prosessista. Tarvittavat materi-aalien kuljetusmatkat tai ihmisten kulkemat matkat prosessien välillä voidaan niin halutessa myös esittää. (Nash *et al.* 2008; Rother *et al.* 2009)



**Kuva 9.** Esimerkki arvovirtakuvauksesta (mukaillen Jones *et al.* 2009, s.4 ja Nash *et al.* 2008, s. 78).

Kuvaus suositellaan tehtäväksi standardisoiduilla ikoneilla, jotka esittävät prosessin eri vaiheita, sekä materiaalien ja informaation virtausta (Nash *et al.* 2008). Olennainen huomio kuvauksen laatimisessa on, että se tehdään *todellisen ja toteutuvan* virtauksen mukaisena – ei sen, mikä on toivottu tai ohjeistettu. Prosessista on tarkoitus kerätä kat-tavasti tietoa. Tyypillisesti kuvataan vaihe aika, asetuksentekoaika, käyttöaste, erä koko, työntekijöiden määrä, tuotemallien määrä, päivittäinen työaika ja hävikkitaso.

Varastotasot ilmaistaan sekä kappaleina että päivinä, joka kertoo varastossa olevan määrän riittävyyden. (Rother *et al.* 2009)

Valmistusprosessin arvovirtakuvaus voidaan tehdä sillä prosessitasotarkkuudella kuin katsotaan tilanteen mukaan hyödylliseksi (Nash *et al.* 2008). Kuvaus suositellaan kuitenkin tehtäväksi yhden valmistettavan tuotteen tai tuoteperheen näkökulmasta, sillä asiakasta kiinnostaa oma tuotteensa. Näin ollen tuoteperheiden tunnistaminen on olennaista. (Rother *et al.* 2009) Kuvauksessa tulee käyttää asiakkaan tarvitsemaa valmistusmäärää, joka muutetaan päivätason valmistustarpeeksi. Tämän luvun avulla voidaan laskea valmistuksen tarvittava rytmi, eli jaksoaika. Jaksoaika kuvastaa nopeutta, jolla valmistuksen tulee toimia kyetäkseen vastaamaan asiakastarpeeseen. (Nash *et al.* 2008)

Arvovirtakuvaus auttaa näkemään kaikki tuotteen tuottamiseksi ja toimittamiseksi tarvittavat prosessit koko arvovirran matkalla ja ymmärtämään niiden nykyistä tilannetta. Kokonaisuuden näkeminen prosessikohtaisten osastojen sijasta on olennaista. Kokonaiskuvan tunnistaminen edesauttaa työtä sujuvan materiaalivirtauksen aikaansaamiseksi, jolloin saavutetaan myös lyhin läpimenoaika, korkein laatu ja alhaisimmat kustannukset. (Dennis *et al.* 2007; Rother *et al.* 2009) Arvovirtakuvauksen pohjalta organisaatiolla on sama kieli valmistusprosessista puhuessaan ja se tarjoaa työkalun Lean-menetelmien yhteen sitomiseksi. Kehitystyö saa pohjan, joka kaikkien on helppo ymmärtää ja informaatio sekä materiaalivirtojen yhteys tulee paremmin esille. (Rother *et al.* 2009). Etuna prosessikuvaukseen on myös mahdollisuus sekä nykyisen että tulevan tilanteen visualisoimiselle kaikille prosessin sidosryhmille (Nash *et al.* 2008).

Pyrkimyksenä tulee olla valmistuksen rytmin synkronoiminen myytyjen tuotteiden rytmiin, jolloin asiakkaan tarve tuodaan päivätasolla tarvittavalle valmistusmäärän tasolle. Jaksoaikaan valmistaminen edellyttää nopeaa reagointia ongelmatilanteisiin, ennalta suunnittelemattomien pysähdysten nopeaa eliminointia ja kaiken vaihtoajan minimointia tai poistamista. Tavoitteena on jatkuva virtaus kaikkialla, jossa se vain suinkin on mahdollista. (Rother *et al.* 2009)

## 2.4 Layout-suunnittelu ja siihen vaikuttavat ohjausperiaatteet

Layout-suunnittelulla tarkoitetaan päätöksiä liittyen taloudellisten toimintakeskusten fyysisestä sijoittelusta. Taloudellisella toimintakeskuksella tarkoitetaan mitä tahansa tilaa vaativaa asiaa, kuten laitetta, portaikkoa, varastoa ja niin edelleen. (Moore 1962; Krajewski *et al.* 2005) Layoutin optimaalisuus riippuu niistä kriteereistä joita layoutille on eri resurssien näkökohdista määritetty, mutta suunnitteluprosessissa on otettava huomioon kaikki resurssit (Moore 1962).

Layout-valinnoilla on sekä käytännön että strategisen tason vaikutuksia. Sillä voidaan vaikuttaa tuotemallipäätöksiin ja organisaation kykyyn kasvattaa asiakastyytyväisyyttä ja resurssien tehokasta käyttöä, edesauttaa materiaalin ja informaation virtausta, poistaa vaaranpaikkoja ja edistää työssä viihtymistä. (Krajewski *et al.* 2005) Tyypillisiä tarpeita layout-suunnittelulle tuovat esimerkiksi valmistettavan tuotemallin tai määrän muuttuminen, uuden tuotteen valmistustarve, kehitystyöstä johtuvat prosessien muutokset (Harmon *et al.* 1990), teknologian kehittyminen, epäsuotuisat työskentelytilat, toistuvat vaaranpaikat tai onnettomuudet (Moore 1962), keskeneneräisen tuotantomäärän kasvu, työtiloista johtuva työntekijöihin kohdistuva fyysinen tai psyykkinen rasitus (Eilon 1962) tai ongelmat materiaalien virtauksessa (Santos *et al.* 2006).

Layoutin on toteutettava liiketoiminnan kannalta taloudellisesti kannattava malli, joka on myös työntekijöilleen turvallinen (Santos *et al.* 2006). Tällainen layout parantaa samalla myös laatua, asiakaspalvelua ja henkilöstön tyytyväisyyttä, täyttäen esimerkiksi seuraavat seitsemän tunnusmerkkiä:

1. Yksinkertainen. Laitteet tulee sijoittaa siten, että niitä voidaan käyttää tehokkaasti. (Moore 1962). Toimiva layout edesauttaa materiaalin, informaation sekä ihmisten virtausta (Heizer *et al.* 2014). Toimiva layout- malli antaa myös mahdollisuuden laitteiden huoltojen suorittamiseen ja kasvattaa tuotantomääriä lyhentämällä valmistusaikoja, joutoaikaa minimoimalla (Moore 1962).
2. Pienet materiaalinkäsittelynkustannukset. (Moore 1962). Huomioidaan käsitteilymenetelmät laitteistoiheen sekä varastojen helppokäyttöisyys (Krajewski *et al.* 2005). Materiaalien määrän, saatavuuden ja merkinnän optimoiminen siten, että välikäsittelyt jäävät minimiin (Rother *et al.* 2001).
3. Luo mahdollisuuden hyvään liikevaihtoon. Kaikki aika, jonka materiaali viettää prosessissa, tarkoittaa kustannuksia. Layout-ratkaisuilla on vaikutusta sekä sisäisen että ulkoisen asiakkaan ja toimittajan väliseen yhteistyöhön. (Moore 1962)
4. Hyvät työskentelytilat. Työn mukavuus- ja viihtyvyystekijöiden sekä työn sujumiseen liittyvien tekijöiden huomioiminen, jotta työ voidaan tehdä hyvin ja turvallisesti. Tällaisia tekijöitä ovat meluun, valaistukseen, ilmanvaihtoon ja värimaailmaan liittyvät ratkaisut (Moore 1962).
5. Käytettävissä olevan tilan taloudellinen hyödyntäminen. Tilaa on itse prosessin lisäksi järjestettävä myös tukitoiminnoille, käytäville ja liikenteelle. (Moore 1962).
6. Turhien investointitarpeiden välttäminen. Layout-muutoksilla laitteet voidaan saada paremmin hyötykäyttöön ja sitä kautta myös kasvattaa prosessin kapasiteettia ja välttää turhaa pääoman sijoittamisen tarvetta. (Moore 1962).
7. Edesauttaa työvoiman järkevää hyödyntämistä eliminoimalla pitkät ja turhat kävelymatkat työtehtäviä tehdessä (Moore 1962; Heizer *et al.* 2014).

### 2.4.1 Suunnitteluprosessin vaiheet

Layout suunnittelun lähestymistapa riippuu valitusta layout-tyypistä, eli onko kyseessä tuote- vai prosessilayout. Toinen huomioitava tekijä on, suunnitellaanko kokonaan uutta vai onko tavoite muokata olemassa olevaa ratkaisua. (Krajewski *et al.* 2005)



Kirjallisuudessa Santos *et al.* (2006), Francis *et al.* (1974), Muther (1955) ja Muther *et al.* (2015) esitetään kirjoittajasta riippuen neljästä kuuteen keskenään osittain erilaisin termein nimettyä vaihetta layout-suunnittelun ongelmanratkaisuun. Erittäin tarkkaan rajattu ongelma ei kuitenkaan välttämättä edellytä kaikkia vaiheita (Santos *et al.* 2006). Lean-periaatteen mukaista yleistä A3 ongelmanratkaisumenetelmää (A3 Problem-Solving; Sarkar; Sobek) ja kirjallisuuden esittämiä layout-suunnitteluun liittyviä vaiheita vertaillen voidaan huomata niiden keskinäinen yhdenmukaisuus. A3 ongelmanratkaisumenetelmän kuusi vaihetta listataan alla, täydennettynä kirjallisuudessa esitetyin layout-suunnitteluun soveltuvin kommenttein.

**Vaihe 1. Ongelman taustojen ymmärtäminen.** Ensimmäisessä vaiheessa tulee ymmärtää ongelman taustat, mitä asioita se käsittää ja miten tärkeä ongelma on kokonaisuuden kannalta (Sobek). Vaikka ongelman ymmärtäminen saattaa tuntua triviaalilta, on kuitenkin erittäin olennaista ymmärtää, onko kysymys esimerkiksi uuden laitteen sijoittamisesta vai nykyisen ratkaisun muuttamisesta (Santos *et al.* 2006). Francis *et al.* (1974) kuvaavat suunnitteluprosessin aloituksen ongelman analysoinniksi, joka tarkoittaa ongelman ja olemassa olevien rajoitteiden tarkkaa sanallista kuvausta, joka edellyttää tietojen keräämistä. On pyrittävä löytämään todellinen ongelma oletusten ja vanhojen tottumusten sijasta.

**Vaihe 2. Nykytilanteen ymmärtäminen** (Sobek). Faktoiden kerääminen, jossa syvennyttään ongelmaan lisätiedon kartoittamiseksi prosessista, tuotteista, tilasta, valmistus- ja materiaalmääristä sekä tukitoiminnoista (Muther 1955).

**Vaihe 3. Tavoitteen asettaminen.** Tässä vaiheessa on huomioitava, että tutkijalla ei ole vielä kaikkea tarvittavaa tietoa käsissään. (A3 Problem-Solving) Muther (1955) esittää tämän vaiheen ongelman uudelleenmäärittelynä kerätyn tiedon valossa. Ongelma arvioidaan kerätyn lisätietojen jälkeen mahdollisten muutosten tai lisäysten varalta.

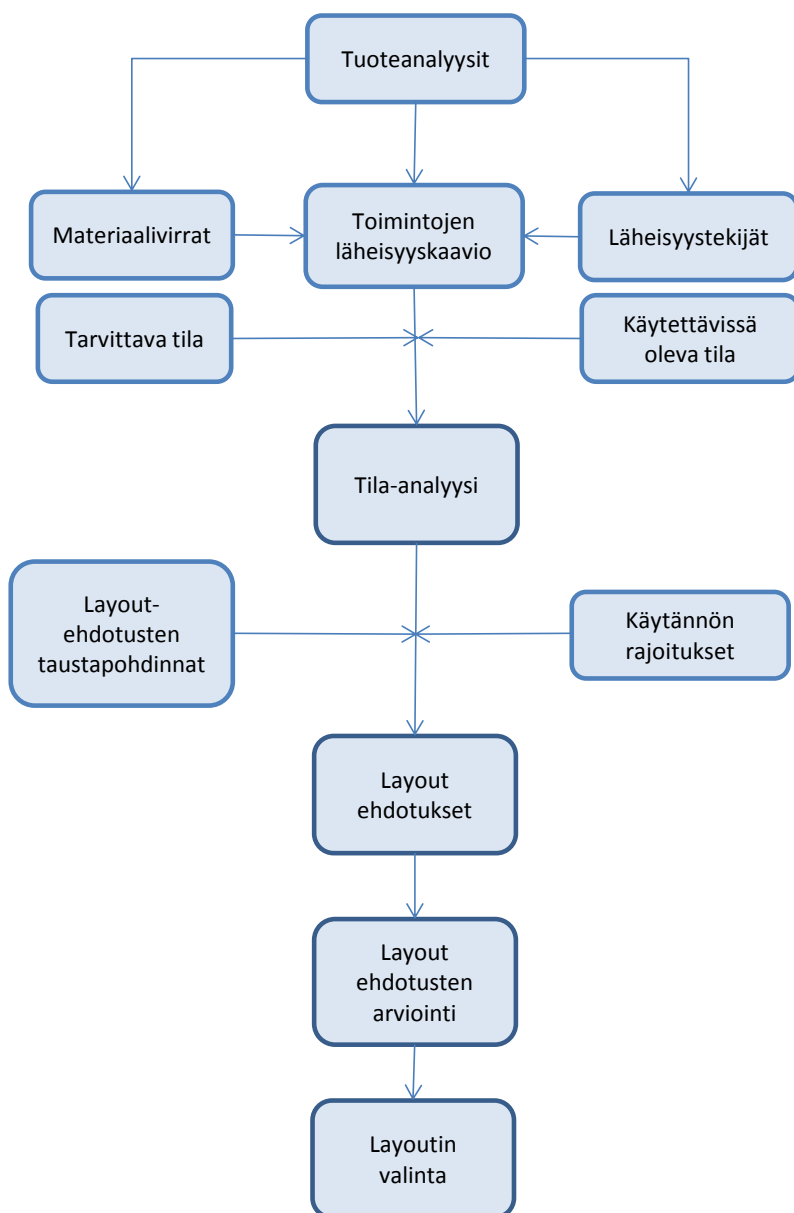
**Vaihe 4. Juurisyiden ymmärtäminen.** Jos ryhdytään suoraan käsittelemään itse ongelmaa, käsitellään vain ongelmien seurauksia. Varsinaisten juurisyiden selvittäminen on tärkeää. (A3 Problem-Solving). Kirjallisuudessa tämä vaihe käsitellään tulosten analysointina ja päätöksentekona, jossa kuvataan ja analysoidaan toimintoihin liittyvät virtaukset sekä määritellään mahdolliset layout-vaihtoehdot (Muther 1955; Muther *et al.* 2015) ja arvioidaan millainen vaihtoehto tarjoaa parhaan ratkaisun ongelmaan (Santos *et al.* 2006). Francis *et al.* (1974) kuvaavat tämän vaiheen vaihtoehtojen ratkaisujen kartoittamisena. Haasteellista on olla innovatiivinen ja unohtaa kaikki olemassa olevan layoutin rajoitteet.

**Vaiheet 5-6. Vastatoimien määrittäminen ja toteuttaminen.** Tässä vaiheessa voidaan palata uudelleen kohtaan 3, jossa tavoitetta täydennetään saatujen faktoiden valossa. (A3 Problem-Solving) Tässä vaiheessa layout-suunnitelmia tarkennetaan, arvioidaan ja hyväksytetään työntekijöillä, palvelutoimien henkilöstöllä ja johdolla (Muther 1955; Muther *et al.* 2015). Vaihtoehtoja voidaan arvioida esimerkiksi listaamalla vaihtoehtojen etuja ja haittoja, asettamalla vaihtoehdot paremmuusjärjestykseen valintaan vaikuttavien tekijöiden perusteella tai kustannuksia vertailemalla Francis *et al.* (1974).

**Vaihe 7. Seurantavaiheessa** varmistutaan toimenpiteiden tehokkuudesta (Sarkar). Suunnitelman piirustukset viedään tarkalle tasolle asennustöitä varten, muutostyöt aikataulutetaan ja varmistetaan, että muutokset ja asennukset onnistuvat. (Muther 1955; Francis *et al.* 1974)

Suunnittelun lähtökohtana on oltava visio, jota layoutilla tavoitellaan. Hyvä layout-suunnitelma pitää sisällään kaikki tehtävät ja toimet, joita tilassa on kyettävä toteuttamaan, mutta ei kuitenkaan ylimääräistä tilaa. (Meyers *et al.* 2005)

Muther *et al.* (2015) esittää systemaattisen layout-suunnittelun oppaassaan menettelytavan varsinaiseen layout-suunnitteluun. Opas esittää layout-projektin raamit vaiheittaiselle suunnittelulle sekä keinoja visualisoida toimintoja ja niiden välisiä suhteita Kuvan 10 mukaisesti. (Muther *et al.* 2015)



**Kuva 10.** Layout-suunnittelun vaiheet (mukaillen Shewale *et al.* 2012).

Analysoimalla seuraavia kahdeksaa tekijää, voidaan tunnistaa uuden layoutin suunnittelussa huomioitavia rajoituksia (Santos *et al.* 2006).

1. Materiaalitekijät. Niiden tuotantovaiheiden ja materiaalivirtausten tunnistaminen, joita valmiin tuotteen aikaansaamiseksi vaaditaan.

2. Konetekijä. Sijoitettavien koneiden määrä ja tyyppi sekä niiden tuottama melu, lämpötila tai värinä.
3. Työntekijärajoite. Tarvittava työntekijöiden määrä, huomioiden myös tukitoiminnot.
4. Liikkumistekijä analysoi materiaalivirtoja eri työpisteiden välillä.
5. Odotustekijä, joka tarkoittaa raaka-aine-, keskeneräisen tuotteen ja lopputuotevarastojen tilan tarpeen tunnistamista.
6. Palvelutekijä, jossa ympäristöä tutkitaan työskentelyolosuhteiden näkökannalta, huomioiden esimerkiksi melu, valaistus ja niin kutsuttujen palvelutoimintojen edellyttämä tilan tarve, joka muodostuu esimerkiksi trukki-, haarukkavaunu-, ja puhtaanapitolaitteista.
7. Rakennustekijä määrittelee käytettävissä olevan tilan muodon, koon, osastoinnit, ja ilmanvaihdot.
8. Muutospotentialiteikijä: mikään layout-vaihtoehto tuskin toimii loputtomiin, joten layout-ehdotuksia arvioidaan tulevaisuudessa odotettavissa olevien tekijöiden näkökulmasta.

Layoutin suunnittelu alkaa tarvittavan informaation keräämisellä (Krajewski *et al.* 2005). Moore (1962) korostaa, että suunnittelussa ensisijaisen olennaista on tuntee ja ymmärtää tuotteet ja niiden volyymit, joiden valmistusta layoutin tulee palvella. Tämä tarkoittaa tuotteiden fyysisten mittojen lisäksi tuotteiden materiaali-, suunnittelu- ja laatuvaatimustietoja, eri tuoteversioiden volyymi- ja kysyntätietoja sekä tuotteiden ja komponenttien valmistusaika-, reitti- ja laitetietoja. Valmistusaikatieo on olennainen laskettaessa tarvittavien laitteiden ja niiden tarvitseman tilan määrää layoutissa. Komponenteilla tarkoitetaan osia, joista valmis tuote koostuu ja reittilistaus summaa laitteet, joilla mikäkin komponentti ja tuote valmistetaan. (Moore 1962)

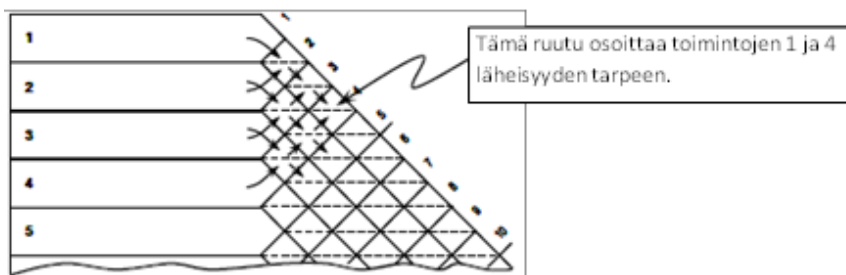
**Prosessikuvaus** on jäsennelty henkilö-, kone- tai työpistetasolla esitettävä kuvaus eri toimintojen ja työvaiheiden järjestyksestä sekä materiaalien käyttöönoton vaiheista prosessissa (Moore 1962; Krajewski *et al.* 2005; Meyers *et al.* 2005). Kuvaukseen voidaan liittää tietoa myös prosessin vaiheajoista, jotka korostuvat erityisesti tuotelayoutissa, sillä linjan työvaiheiden kesto määrittää tuotantomäärän suhteessa työasemien määrään. Prosessikuvauksessa on käytössä yleisesti sovitut kuvakkeet, jotka kertovat mikä toiminto missäkin vaiheessa on kyseessä. Kuvauksessa erotetaan omiksi symboleikseen kuusi mahdollista prosessivaihetta: operaatio, tarkastus, siirto/kuljetus, odotus ja viivästyminen, varastointi ja eri toimintojen yhdistelmä. Tuottavaa ja tuottamatonta työtä analysoidaan tutkimalla miksi, kuka, mitä, missä, milloin ja miten jokainen toiminto tapahtuu, jonka jälkeen voidaan arvioida, olisiko vaihe mahdollista eliminoida, automatisoida, yhdistää jonkun muun toiminnon kanssa, materiaalin reittejä muuttaa, tuoda työpisteitä lähemmäs toisiaan tai lisätä/muokata apuvälineitä tehokkuuden parantamiseksi. Prosessinkuvauksella saa yleiskuvan ja systemaattisen ymmärryksen prosessista. (Moore 1962; Meyers *et al.* 2005)

Varsinaisen prosessin ja siihen liittyvien toimintojen tunnistamisen lisäksi layout-suunnittelussa on huomioitava lähitulevaisuuden laiteinvestoinnit ja asennussuunnitelmat. Heikosti suunniteltu tuote johtaa yleensä liiallisen tilan varaamiseen. Melko tarkkaan tiedossa olevat ennuste- ja tuotemallit antavat riittävää pohjaa layout-suunnittelulle. (Harmon *et al.* 1990)

Prosessiin ja sen tuottavuuteen liittyvistä päätöksistä seuraa käsitys, mitä ja montako toimintakeskusta alueelle sisällytetään. Toimintokeskusten tilan tarve riippuu kapasiteettisuunnitelmista (Krajewski *et al.* 2005), sillä tarvittavien laitteiden määrä riippuu tarvittavasta valmistusmäärästä sekä yhden kappaleen tarvitsemasta valmistusajasta. Laskemisessa hyödynnetään yhden kappaleen valmistuksen vaiheikaa ja tarvittavaa jaksoaikaa. (Meyers *et al.* 2005)

Jokaisen toimintakeskuksen tilan tarpeessa on huomioitava **käytettävissä olevan tilan** rajoitteet ja mahdollisuudet toimintakeskuksen ominaisuuksiin nähden. Epäkäytännöllinen tila heikentää tehokasta työskentelyä ja siten tuottavuutta sekä voi pahimmillaan muodostaa vaaranpaikkoja. Vastaavasti liiallinen tila on haaskausta ja voi yhtälailla myös vähentää tuottavuutta pidentämällä siirtymämatkoja tai eristämällä työntekijöitä toisistaan työtehtävissä, jotka edellyttävät toistuvaa vuorovaikutusta muiden työntekijöiden kanssa. Sijoittelussa huomioidaan sekä keskusten keskinäinen sijoittuminen toisiinsa nähden että absoluuttinen sijoittuminen, eli sijoittuminen itse tilaan nähden (Krajewski *et al.* 2005).

**Toimintakeskuksen läheisyystekijät** määrittelevät toimintokeskusten sijainnin toisiinsa nähden. Toimintokeskusten keskinäiseen sijaintiin vaikuttavat esimerkiksi työn edellyttämä informaation vaihto tai kuljettavan välimatkan pituus. (Krajewski *et al.* 2005) Eri laitteiden ja toimintojen suhteellisen sijoittumisen kuvauksessa voidaan käyttää esimerkiksi Kuvassa 11 esitettyä läheisyyskaaviota, jossa kirjaimin ja numeroin kuvataan osastojen, tukitoimien ja prosessien välisiä riippuvuussuhteita (Muther *et al.* 2015). Läheisyyskoodeina käytettävät kirjaimet kertovat läheisyyden tarpeen tärkeyden (Taulukko 2) ja numerointi syyn läheisyyden tarpeelle (Meyers *et al.* 2005).



**Kuva 11.** Läheisyyskaavion rakenne (mukaillen Muther *et al.* 2015 s. 5.3).

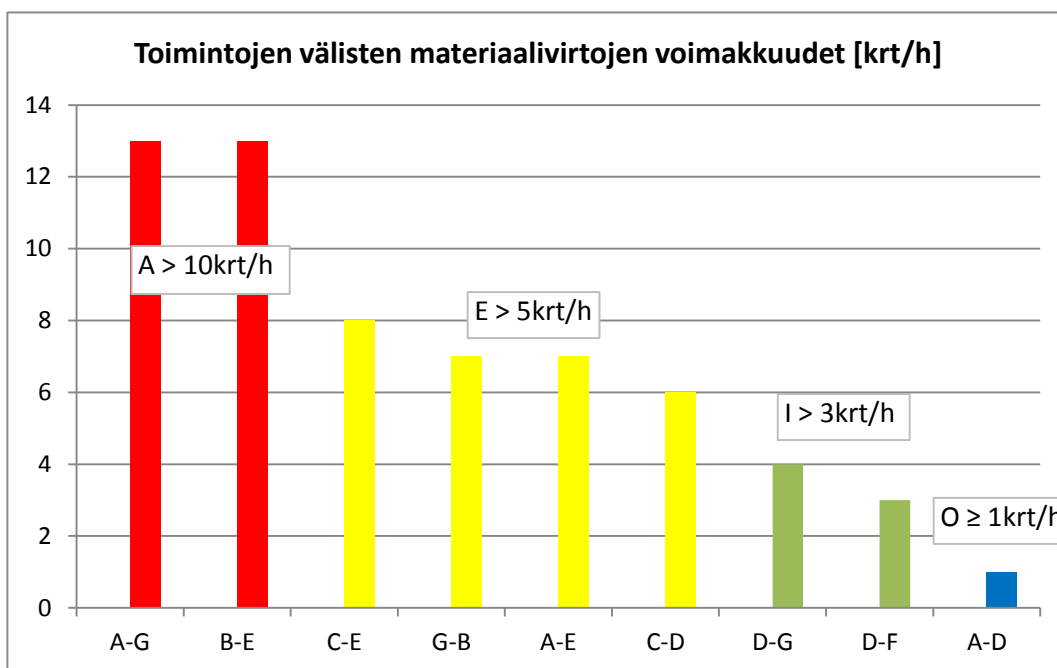
**Taulukko 2.** *Läheisyyskaavion kirjainmerkitykset toimintojen keskinäisen läheisyyden tärkeydelle (mukaillen Meyers et al. 2005, Muther et al. 2015 s. 5.5).*

A	Ehdottoman tärkeää (engl. Absolutely necessary)
E	Erityisen tärkeää (engl. Especially important)
I	Tärkeää (engl. Important)
O	Normaali tärkeys (engl. Ordinary closeness is acceptable)
U	Tarpeetonta (engl. Unimportant)
X	Ei toivottua tai sallittua (engl. Not desirable)

Läheisyyskaaviota käytetään pääasiassa kuvaamaan muiden kuin materiaalivirtausten vuoksi tarpeellista eri toimintojen keskinäistä läheisyyttä. Tällaisia muita toimintoja ovat esimerkiksi huolto- ja kunnossapitotyöt. Vastaavasti tiettyjen toimintojen ei missään nimessä tule olla lähekkäin, kuten erityistä puhtautta edellyttävät ja huomattavaa likaisuutta tuottava työvaiheet. Jos toimintojen keskinäisen sijoittelun tärkein kriteeri on kuitenkin materiaalivirrät, eikä varsinaisia muita toimintoja juuri esiinny, ei läheisyyskaavion laatiminen ole välttämätöntä, joskin se on visuaalinen esitystapa myös materiaalivirtojen edellyttämälle toimintojen läheisyystarpeen osoittamiselle. (Muther *et al.* 2015)

**Materiaalivirrät** ja valmistusprosessi ovat kiinteä osa toisiaan ja siksi myös materiaalien virtausten voimakkuudet ja reitit on huomioitava suunnittelussa (Moore 1962). Riippuen eri laitteiden toiminnan tarkoituksesta ja mikä sen riippuvuussuhde on muihin toimintoihin tai laitteisiin, on niiden keskinäisellä sijainnilla merkittävä vaikutus materiaalivirtauksiin (Santos *et al.* 2006). Pitkät prosessien väliset etäisyydet lisäävät välivarsausten tarvetta ja aiheuttavat kommunikoinnin puutetta vastaanottavan ja toimittavan osaston tai prosessivaiheen välillä (Harmon *et al.* 1990). Materiaalin virtaus määrittelee materiaalikäsittelystä aiheutuvia kustannuksia, keskeneräisen tuotannon määrää sekä siihen sitoutuneen pääoman ja tilan määrää ja tuotannon kokonaisläpimenoaika (Eilon 1962). Koska materiaaleja on tarpeen siirtää, käsitellä ja varastoida, on niiden käsittelymenetelmissä pyrittävä minimoimaan kuljetuksista aiheutuvat kustannukset, välimatkat ja kuljetuksiin käytettävä aika (Krajewski *et al.* 2005; Meyers *et al.* 2005; Stevenson 2012). Muutokset materiaalien käsittelymenetelmiin ja laitteistoihin vaikuttavat myös layoutiin ja toisinpäin. Ristikkäin tapahtuva liikenne, on epätoivottu tilanne layoutissa, sillä se aiheuttaa mm. turvallisuusriskejä. Takaisinpäin kulkeva liikenne on lisäksi kustannuksiltaan kolminkertainen oikeaan suuntaan kulkevaan liikenteeseen nähden (Meyers *et al.* 2005), joten hyvä layout minimoi kaksisuuntaisen materiaalivirtauksen etenkin alueilla, joissa virtaus on suurta (Muther *et al.* 2015) Asianmukainen tarvikkeiden sijoittelu vähentää tarvetta ristiin tapahtuvalta liikenteeltä (Meyers *et al.* 2005).

Materiaalivirtauksia voidaan esittää erilaisin visuaalisin kuvauksin, jotka kuvaavat prosessin toimintojen keskinäistä järjestystä, kuljetuksia, tarkastusvaiheita, viivästyksiä, ja varastointia. Tarvittaessa voidaan lisätä tietoja eri vaiheiden välisistä etäisyyksistä ja tarvittavista ajoista. Virtauksien suuntia ja reittejä voidaan esittää layout-pohjaan piirrettyin nuolin (Moore 1962), jolloin pystytään jäljittämään informaation, materiaalin ja laitteiden virtaus eri vaiheiden ja prosessien läpi (Krajewski *et al.* 2005). Valmistusmäärän historiatietojen avulla materiaalivirtauksia voidaan laajentaa pidemmän aikavälin liikenteen laskemiseen. Mikäli erilaisia kappaleita tai artikkeleita on erittäin paljon, on järkevää yhdistää niitä perheiksi niiden samankaltaisten ominaisuuden tai prosessointimenetelmän perusteella. Tällöin huomioidaan esimerkiksi yhtäläisyydet artikkelin koossa, olomuodossa ja muodossa tai prosessointireitissä. (Muther *et al.* 2015) Virtausten voimakkuudet eri reiteillä voidaan kuvata kirjaimin, joka helpottaa lukijaa tulkitsemaan virtausten suuruudet eri alueilla. Kuvauksessa käytettävät vokaalit A, E, I, O ja U esittävät virtausten voimakkuudet eri toimintoalueiden välisillä reiteillä laskevassa järjestyksessä, kuten esimerkkinä Kuvassa 12. (Muther *et al.* 2015)



**Kuva 12.** Toimintojen välisten materiaalivirtausten voimakkuuksien esittäminen (mukaillen Muther *et al.* 2015, s. 4.25).

Harmon *et al.*(1990) mainitsevat kuusi ohjetta layout-suunnittelun materiaalivirtausten huomioimiseen.

1. Materiaaleja toimittava osasto tulisi sijoittaa toisiin toimintoihin nähden keskeiselle paikalle. Tämä lyhentää välimatkoja joita tarvikkeiden siirtämiseen tarvitaan. Toimittava osasto tulisi olla lähimpänä sitä toimintoa, joka käyttää sen tuottamia tarvikkeita suurimman määrän.
2. Ylimääräistä tilan käyttöä tulee välttää, sillä se pidentää materiaalien ja tarvikkeiden siirtelyyn tarvittavaa matkaa ja aikaa, sekä lisää välivarastoinnin tarvetta.

3. Ostettavien komponenttien ja materiaalin sijoittelu tulisi tehdä niille osastoille ja prosesseille joissa niitä käytetään ja välttää keskitettyjä varastoja, josta tarvikkeita joudutaan sekä toimittamaan että hakemaan toimintoalueiden käyttöön.
4. Tulevaisuuden näkymät tulee ennakoida, jotta tulevaisuudessa mahdollisesti odotettavissa olevan kasvun ja muutosten myötä ei ole tarvetta tehdä uudelleen merkittäviä muutoksia.
5. Tukitoimintojen ja toimistotilojen sijoittamista tuotannon reuna-alueille tulisi välttää, sillä reuna-alueet ovat parhaat alueet tavaroiden vastaanotto- ja lähetystoiminnoille.
6. Tuotantoprosessien ja materiaalivirtoihin tarvittavien käytävien suhde on pyrittävä pitämään mahdollisimman pienenä.

### 2.4.2 Lean-periaatteet layout-suunnittelussa

Laitteiden sijoittelun tulee tukea tuotteen prosessivirtausta, jossa materiaalivirtaus pyritään pitämään tasaisena, välttämällä välipysähdyksiä ja -varastoiteja. Layoutin tulee edesauttaa materiaalin virtausta suoraan seuraavalle käsittelypisteelle. (Shingo 1989; Vonderembse *et al.* 1996). Tuotannon järjestäminen osastoittain siten, että samanlaiset koneet on sijoitettu osastoiksi luo siirtelytarvetta (Shingo 1989). Tuotelähtöinen virtaus on prosessilähtöiseen virtaukseen nähden yksinkertaisempi koordinoida, sillä eri osastojen työntekijät työskentelevät toisiaan lähellä voidaan keskustella ja ratkaista ongelmat nopeasti. Tuotelähtöinen materiaalivirtaus edesauttaa vähentämään keskeneräistä tuotantoa, materiaalien ylikäsittelyä sekä laatuongelmien nopeampaa näkyvyyttä, kun virhe ei pääse etenemään prosessissa. Nämä kaikki tekijät vähentävät tarvetta lattiapinta-alalle. (Meyers *et al.* 2005)

Autovalmistaja Toyota on pyrkinyt pienentämään kuljetusaikoja kahdella layoutiin liittyvällä ratkaisulla: järjestelemällä layout siten, että kuljetustarpeet ja välimatkat on minimoitu sekä hyödyntämällä vaihtoehtoisia kuljetustapoja, kuten kuljettimia ja kouruja prosessien yhdistämisessä. Laitteet on sijoitettu virtauksen suuntaisesti, jolloin käytetään U, L tai V-mallisia layouteja siten, että työntekijät on sijoitettu mallin sisälle ja laite ulkopuolelle (Shingo 1989). Layout-malli tukee sujuvaa tuotannon virtausta, kun yksi henkilö voi käyttää useita laitteita samanaikaisesti ja henkilöstömäärää voidaan säädellä joustavasti kysynnän mukaan (Monden 1983). Tuotteiden mahdollinen korjaustarve on nopeaa, kun viallisen tarvikkeen voi palauttaa nopeasti prosessissa takaisinpäin (Slack *et al.* 2010). Työntekijöillä on myös mahdollisuus säätää työrytmiä ja ratkoa ongelmia yhdessä, joka lisää keskinäistä yhteistyötä. Toimintamalli edellyttää monitaitoisuutta, joka on puolestaan keino suoriutua kysynnän ja prosessin vaihteluista. (Simchi-Levi 2010)

Layout-ratkaisuja, joissa ihmiset ovat toisistaan eristyksissä, pyritään välttämään. Niin kutsutuissa lintuhäkeissä jokaisen työpisteen jokaisella laitteella on oma operaattorinsa. Mikäli pisteiden vaiheajat eivät ole tasapainossa, muille laitteille muodostuu odotusta.

Eristetyt saaret tarkoittavat mallia, jossa työntekijät on sijoitettu sinne ja tänne, jolloin he eivät voi tarvittaessa auttaa toinen toisiaan. Materiaalikuljetukset saarien välillä tehdään haarukkavaunuilla ja usein työntekijät työskentelevät niin nopeasti kuin kykenevät, huomioimatta todellista tarvetta. Kontrolloidut yhdistetyt saaret eroavat eristetyistä saarista siten, että ne on yhdistetty toisiinsa kuljettimilla tai kouruilla ja niiden välisiä mahdollisia välivarastoja seurataan, jolloin edeltävä prosessivaihe lopettaa valmistuksen, kun seuraava vaihe on täynnä. Kun työn virtaus on asianmukaisesti järjestelty, pieniä saarekkeitä ei muodostu. Solulayoutissa valmistuslaitteet on sijoitettu vierekkäin ja niiden välissä on minimaalinen varasto, mutta ideaalitulanteessa valmistus tapahtuu yksi kappale kerrallaan ja kun kappale on prosessoitu, se siirtyy välittömästi seuraavaan prosessivaiheeseen. (Shingo 1989; Dennis *et al.* 2007)

Dennis *et al.* (2007) ja Muther *et al.* (2015) esittävät seuraavia yhdeksää Lean-periaatteita tukevia layout-ratkaisuja:

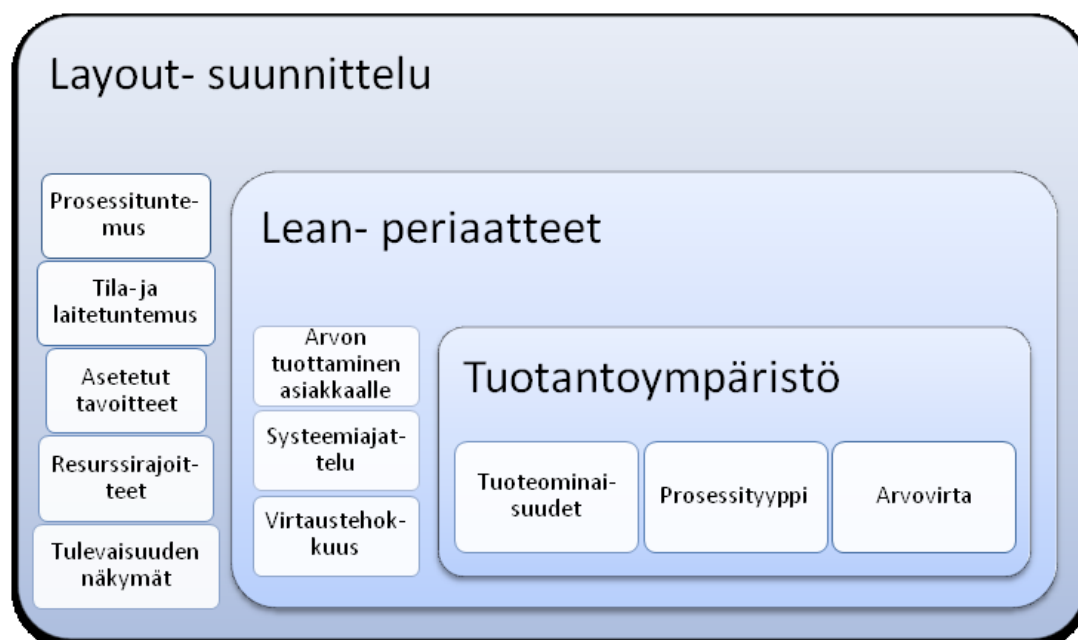
1. Prosessin alku- ja loppupään toiminnot tulee pyrkiä sijoittamaan siten, että sama työntekijä pystyy hoitamaan molempia. Tämä toteutuu U-mallisessa layoutissa, jossa prosessi alkaa ja päättyy vierekkäisiin pisteisiin
2. Tilanteissa, joissa materiaalin ominaisuus sallii, on parempi suosia työntekijän suorittamaa materiaalin siirtoa kuin pakata ne suurempiin yksiköihin siirtoa varten.
3. Tarvikkeiden siirtelyssä tulee hyödyntää painovoimaa, kuten kouruja ja putkia, joilla voidaan poistaa tarvetta isomprien yksiköiden yksittäiseen siirtelyyn.
4. Pieniä, ketteriä käsittelylaitteita voi hyödyntää käytävätilan säästämässä.
5. Työkaluille ja materiaaleille tulee merkitä paikat ja ne tulee sijoitella lähelle toimintoa, jossa niitä käytetään. Materiaalivarastot tulisi sijoittaa käyttökohteen läheisyyteen.
6. Kulkuväylien alueille on vältettävä kiinteiden esteiden, kuten kiskojen tai hissien sijoittamista.
7. Layoutiin tulee rakentaa joustavuutta, jotta se pystyy mukautumaan kysynnän muutoksiin ja myös erilaisten työntekijöiden tarpeisiin.
8. Layout tulisi luoda tukemaan ensisijaisesti vaakatasossa tapahtuvaa materiaali-virtausta pystysuuntaisen sijasta.
9. Asianmukaisen valaistuksen ja visuaalisuuden, kuten värien hyödyntäminen edesauttaa työssä viihtymisen tekijöissä.

## 2.5 Teoreettisen katsauksen yhteenveto

Kirjallisuuskatsauksen perusteella saadaan käsitys tuoteominaisuuksien vaikutuksesta prosessityyppiin ja layout-päätöksiin sekä Lean-periaatteen tavoitteista pyrkiä arvon tuottamiseen asiakkaalle koko organisaatiota ja arvovirraksi nimettyä ketjua koskevalla toiminnalla. Teoriaosuus esittää myös layout-suunnittelulle keskeiset tiedot itse suunnittelukohteesta, sen prosesseista ja toiminnoista sekä suunnittelutyön tavoitteista.

Kuvassa 13 esitetään, miten sekä tuotantoympäristö että Lean-periaatteet sekä niihin liittyvät ratkaisut heijastuvat layout-suunnitteluun ja päinvastoin.





*Kuva 13. Tuotantoympäristön, Lean-periaatteiden sekä layout-suunnittelun periaatteiden keskinäinen yhteys.*

Muutokset tuotetasolla edellyttävät prosessitarkastelua arvoa tuottavan toiminnan ja siten virtaustehokkuuden näkökannalta, jotka antavat mahdollisen sysäyksen layout-ratkaisujen arvioimiselle. Lean-periaatteisiin liittyvät päätökset vaikuttavat sekä tuotantoympäristöön että layout-suunnitteluun, sillä Lean on tapa toimia, joka näkyy ja toteutuu kaikessa toiminnassa. Layoutiin liittyvät ratkaisut konkretisoituvat vastaavasti tuotannon toiminnan sujuvuudessa ja tehokkuudessa ja siten Leanin näkökulmasta virtaustehokkuudessa ja kyvyssä palvella asiakasta.

### 2.5.1 Tuotantoympäristön huomioiminen layout-päätöksissä

Kirjallisuuskatsauksessa esitetään, että Lean-periaatteen mukainen toimintatapa pyrkii arvon tuottamisen maksimointiin kaiken arvoa tuottamattoman toiminnan eliminoimisella, tähdäten kustannustehokkuuteen ja nimenomaan niihin seikkoihin, jotka edesauttavat asiakkaan optimaalisen palvelukyvyn saavuttamisessa. Prosessi, jolla asiakasta palvellaan, on arvovirta, jonka toimintaa voidaan esittää visuaalisella kuvauksella osoittamaan virtauksessa tapahtuvat arvoa tuottamattomat viivästykset ja virtauksen edellyttämä kokonaisaika. Tämä arvovirtakuvaukseksi nimitetty esitys pureutuu tutkittavaan prosessiin laitekohtaisella tarkkuudella monesta eri näkökulmasta, esittäen laitteiden käyttöasteen, kysyntä- ja valmistusmäärän, vaiheajan, henkilöstömäärän ja tuotteiden saantoprosentin, jolloin prosessia voidaan ymmärtää riittävällä tarkkuudella kehityskohteiden tunnistamiseksi.

Valmistettavia tuotteita voidaan puolestaan tarkastella useasta eri näkökulmasta menekin ja fyysisten mittojen tai valmistusprosessiin vaikuttavien muiden tekijöiden perusteella. Kirjallisuuskatsauksessa esitetään, miten valmistettavien tuotteiden ominaisuudet vaikuttavat prosessi- ja layout-valintoihin. Tuotetutkimuksen menetelmänä kuvataan PQ-analyysi, josta tuoteryhmien menekin mukaan laskevaan järjestykseen saatavan grafiikan muodon perusteella voidaan tehdä tuoteryhmien välisiä johtopäätöksiä layout-pohdintojen tueksi.

Tässä työssä arvovirtakuvauksen avulla tutkitaan nykytilanteen toimintaa osasto- ja laitekohtaisista lähtökohdista, luomaan kokonaiskäsitystä työn kohdeosaston materiaali- ja informaatiovirtojen esiintymisestä eri toimintojen välillä sekä etenkin laitteista ja prosessivaiheista, joissa virtaus mahdollisesti pysähtyy. Kuvauksen tavoite on selvittää tutkijalle alueen ongelmakohdat etenkin materiaalivirtausten voimakkuuksien ja niiden pysähtymisen näkökohdista, sillä työn tavoitteet uuden tuotemallin valmistuslaitteesta ja tuotannon virtauksen kehittämisestä edellyttävät eri laitteiden kapasiteetin ja tuotantovirran ymmärtämistä. Arvovirtakuvausta tuetaan PQ-analyysillä, jotta tutkija saa käsityksen miten monta erilaista tuoteryhmää yrityksen valmistus käsittää nyt ja lähitulevaisuudessa ja miten niiden menekki jakautuu vuositasolla. Kirjallisuudessa suositellaan myös tuotteiden valmistusreittien tutkimista, joka on tässä työssä toteutettu niin kutsutulla PR-analyysillä (engl. Product Route). Analyysi on tehty PQ-analyysimenetelmän pohjalta, jakamalla tuotemallien valmistusmäärät valmistuslinjoittain. Analyysit kuvaavat yrityksen erilaisten tuoteominaisuuksien kokonaismäärää, mutta myös niiden valmistusmäärän jakautumista toisiinsa nähden ja eri valmistuslinjojen kesken.

### 2.5.2 Lean-periaatteet

Kirjallisuuskatsauksen Leanin mukaista toimintaa esitetään systeemiajattelun periaatteina kaikessa organisaation toiminnassa. Lean-periaatteiden mukaisessa toiminnassa kustannustehokkuuteen pyritään arvoa tuottamattomien toimien poistamisella, mutta ne edellyttävät kokonaisvaltaista järjestelmää, joka toimii koko organisaation jokaisella tasolla. Toiminnot tukevat toinen toisiaan ja järjestelmää pyörittää motivoitunut, ammattitaitoinen ja kehittyvä henkilöstö.

Kappaleessa esitettyjä arvoa tuottamattomia toimintoja on tarkasteltu myös tämän työn toteutuksessa. Nykytilanteen virtaustehokkuutta tarkastellaan kohdennetusti erilaisilla tarkentavilla mittausmenetelmillä, jotka täydentävät arvovirtakuvauksen dataa. Tuotteiden virtaustehokkuuden tutkimukset auttavat tutkijaa ymmärtämään suunnittelukohteen laitteiden kapasiteettia, joka antaa arvovirtakuvausta tarkempaa tietoa tuoteominaisuuksista ja valmistusprosessista.

Työn toteutusvaiheen prosessikuvaus- ja suunnitteluosuudessa huomioidaan muiden suunnittelua rajoittavien tekijöiden puitteissa mahdollisuudet eliminoida työskentelyssä esiintyviä välivaiheita, kuljetus- ja siirtelytarpeita, edestakaisin tapahtuvaa siirtelyä, sekä pyritään edesauttamaan informaation välittämistä, työturvallisuuden paranemista sekä toimintojen joustavuutta tulevaisuuden muutoksia silmällä pitäen.

### **2.5.3 Layout-suunnittelun periaatteet**

Teoreettisen katsauksessa avulla selkiytyy, miten tärkeää layout-suunnittelussa on tuntee paitsi suunnittelukohteena oleva tila, myös siellä esiintyvien informaatio-, ihmis- ja materiaalivirtojen voimakkuudet, menetelmät ja niiden toimivuuden haasteet ja edut. Suunnitteluprosessin ajallisesti ja lopputuloksen kannalta laadullisesti merkittävin osuus on suunnittelutyön tavoitteiden ymmärtämisellä sekä perusteellisella tiedonkeruulla ja sen analysoinnilla ennen varsinaista suunnittelutyötä, joka on vain yksi vaihe koko suunnitteluprosessia. Teoriaosuus visualisoi koko suunnitteluprosessin ja auttaa ymmärtämään suunnittelutyön moninaisia, eri näkökulmista tulevia tavoitteita, rajoitteita ja haasteita. Tavoitteissa voidaan myös tulkita niiden yhdenmukaisuus Lean-periaatteiden kanssa. Layoutin tulee tukea liiketaloudellisesti kannattavaa toimintaa turvallisuudesta tinkimättä, jolloin siihen liittyvät päätökset ja ratkaisut ovat strategisesti merkittäviä. Lean-toiminnassa toimintojen keskiössä on ihminen ja ihmisuus.

Tässä työssä ihmisten rooli nykytilan ymmärtämisessä on keskeinen. Työssä sovelletaan layout-suunnitteluun liittyviä tiedonkeruutyökaluja, jotka toteutetaan ennen kaikkea henkilöhaastatteluilla ja kyselyillä. Tämä ensisijaisesti kvalitatiivinen data edesauttaa tutkijaa ymmärtämään nykytilan toimintaa työnteon ja siihen liittyvien menetelmien, käytäntöjen ja rajoitteiden näkökulmasta. Se tarjoaa osittain myös kvantitatiivista dataa sellaisista niin sanotusta järjestelmälle näkymättömistä materiaalivirroista ja prosessivaiheista, joita ei dokumentoida sähköiseen tai kirjalliseen muotoon. Haastatteluja käytetään menetelmänä myös selvittäessä lähitulevaisuudessa esiintyvien tuotteiden tuotominaisuuksia ja prosessivaiheita, joiden valmistus ei ole vielä konkretisoitunut. Yhdistämällä haastattelujen avulla kerättyjä tietoja tutkijan omiin havaintoihin sekä arvovirtakuvauksen, PQ- ja PR-analyysien dataan, saadaan kokonaisvaltainen käsitys materiaali-, informaatio- ja ihmisvirroista hyvän layout-ratkaisun tunnusmerkkeihin ja Lean-periaatteisiin nähden.

## 3. AINEISTON KUVAUS JA TUTKIMUSMENETELMÄ

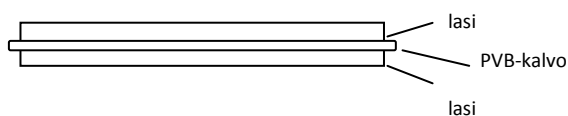
### 3.1 Kohdeorganisaation kuvaus

Kohdeorganisaatio on noin 270 henkilön tehdasyksikkö, joka valmistaa laminoituja turvalaseja ajoneuvoteollisuuden tarpeisiin. Tehtaalla on alaltaan jo miltei 70 vuoden historia Suomessa ja se kuuluu osaksi maailmanlaajuista lasialan konsernia. Tehtaan pääasiakkaina ovat bussien ja maatalouskoneiden valmistajat etenkin Keski-Euroopan alueella, mutta markkinat levittäytyvät kokonaisuudessaan myös Pohjois- ja Etelä-Amerikkaan sekä Japaniin. Suomessa asiakaskunta on erittäin marginaalinen.

Organisaation tuotantoprosessi on pääasiassa asiakastilausohjautuvaa, mutta joitakin tuotteita valmistetaan myös varastoon tasaamaan kysynnän vaihtelua, joka on kalenteriperusteisesti kausiluonteista. Toimintaa ohjaavat ympäristö- ja energiasertifikaatit 14001 ja 50001 sekä laadunhallintajärjestelmä ISO TS 16949.

#### 3.1.1 Tuotekuvaus

Laminoitu lasi koostuu kahdesta oikeaan muotoon taivutetusta lasista ja niiden väliin laminoidusta PVB-kalvosta (Polyvinyylibutyaali). Kuvassa 14 esitetään laminoidun lasin rakenne.



**Kuva 14.** Laminoidun lasin rakenne.

Tuotetta voidaan varioida käyttökohteen ja tarpeen mukaan niin lasien kuin niiden väliin laminoitavan PVB-kalvonkin vahvuutta, määrää ja rakennetta muuttamalla. Myös erilaiset lasiin kiinnitettävät pidikkeet ja kiinnikkeet ovat tyypillisiä tuotemallia muuttavia ominaisuuksia.

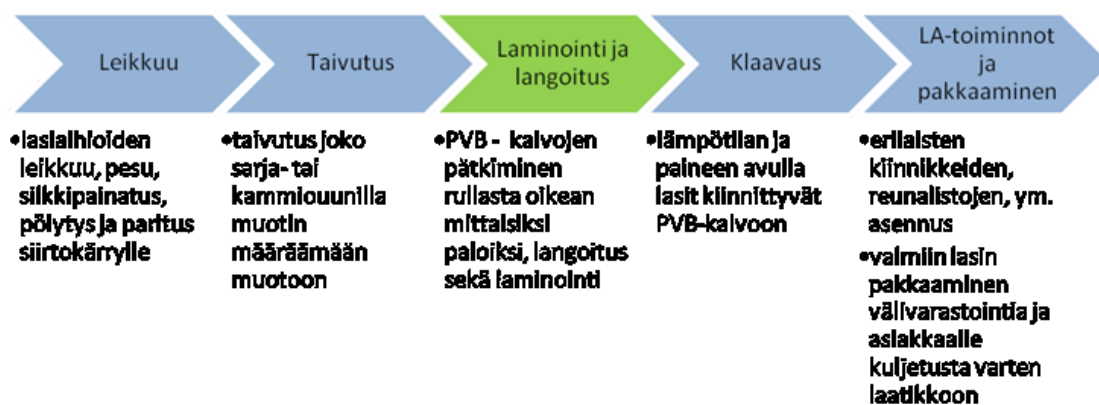
Yrityksellä on arviolta 5000 erilaista valmistettavaa tuotetta tai tuotevariaatiota ja ne valmistetaan erätuotantona. Valmistuksen eräkoot määräytyvät asiakkaan tilausmäärästä, jossa pienin eräkokko on yksi valmistettava kappale ja suurin noin 150 kappaletta. Tyypillinen keskimääräinen eräkokko on kuitenkin kymmenestä viiteentoista kappaletta.

Tuotteita siirrellään tuotannossa kärryillä tai pukeilla, joihin tuotteet pyritään lastaamaan ensisijaisesti valmistus- eli tilauserittäin, mutta suuremmissa erissä tai muotonsa vuoksi sitä edellyttävien tuotteiden kohdalla valmistuserä jaetaan useammaksi kuljetusyksiköksi. Tuotteiden koot ja muodot vaihtelevat suuresti, pienimmän tuotteen ollessa kooltaan alle yhden neliömetrin ja suurimman miltei kuuden neliömetrin suuruinen. Yksikään valmistettavista tuotteista ei riitä myyntimäärältään täyttämään tuotelähtöisen layoutin edellytyksiä ja tuotantoprosessin eri työvaiheiden valmistuslaitteet onkin sijoitettu prosessilähtöisesti funktionaalisen layoutin malliin. Valmistuksen tuotantotyyppi muodostuu kokonaisuutena eri layoutien yhdistelmästä, jossa tuotantolaitteet vaihtelevat yksittäisistä laitteista valmistus- ja kokoonpanolinjoihin.

### 3.1.2 Prosessikuvaus

Laminoidun lasin valmistusprosessi ja tämän työn kohdeosasto esitetään Kuvassa 15. Raakalasiat toimitetaan tehtaalte arkeittain valmiiksi standardikokoihin leikattuina, joista ne leikkuuosastolla leikataan määrämittaansa ja käsitellään seuraavaa prosessivaihetta varten. Taivutusvaiheessa lasit lastataan pareittain tuotekohtaiselle muotille ja kuumentetaan uunissa hallitusti, jolloin lasi alkaa vähitellen pehmentyä ja taipua muotin mukaisesti. Lasia taivutetaan muotilla painovoimaa hyödyntäen loppusijoituskohteen mitatoleranssit huomioiden oikean kokoiseksi ja muotoiseksi. Jäähdytysvaihe tulee tehdä hallitusti, sillä oikeanlaisella jäähdytyksellä lasiin saadaan muodostumaan lopputuotteen kestävyysvaikutukset, tarpeelliset jännitykset. Jäähdytyneet lasit lastataan pukille edelleen seuraavaan prosessivaiheeseen, laminointi- ja langoitusprosessiin, siirtämistä varten.

Tämän työn kohteena on laminointi- ja langoitusosasto, jossa käsitellään pareittain käsiteltyjen lasien väliin laminoitavia PVB-kalvoja. PVB-kalvot toimitetaan rullatavarana ja niitä tilataan eri leveyksissä tuotteiden eri kokojen vuoksi. Kalvot on ennen langoitus- tai laminointivaihetta pätkittävä tuotteen mittojen mukaan oikean pituisiksi ja mahdollisesti esikäsiteltävä kalvolaadun tai tuotemallin edellyttämällä tavalla, jonka jälkeen ne voidaan laminoida lopputuotteeseen. Tässä vaiheessa tuote ei vielä ole iskun kestävä turvalasi, vaikka kalvo on asetettu lasiparin väliin. Lasit eivät ole kuitenkaan vielä kiinnittyneet PVB-kalvoon, vaan sitä edistämään laminointiprosessin viimeisessä vaiheessa lasien välistä poistetaan ilmaa alipaineen avulla. Vasta laminointiprosessia seuraava klaavausvaihe muuttaa tuotteen turvalasiksi. Klaavauksessa lasit altistetaan lämmölle ja ylipaineelle. Lämpö saa PVB-kalvon pehmenemään ja paineen avulla lasit saadaan kiinnittymään kalvoon. Lopputarkastusvaiheessa tuote varustellaan mallista riippuen erilaisilla lisäarvo-ominaisuuksilla, kuten kiinnikkeillä, liittimillä, reunalistoilla tai –massalla. Valmis tuote pakataan laatikkoon varastointia ja kuljetusta varten.



*Kuva 15. Laminoidun lasin valmistusprosessi ja työn kohdeosasto.*

### 3.2 Tutkimusmenetelmän kuvaus

Työn lähestymistapana on käytetty tapaustutkimusta, jossa tutkimusaineistoa kootaan tutkittavan kohteen todellisista tilanteista ja tapahtumista eri menetelmin. Tyypillisiä empiirisiä menetelmiä aineiston kokoamisessa ovat tutkijan toteuttamat haastattelut ja keskustelut tutkimuskohteen kannalta tarkoituksenmukaisten henkilöiden kanssa, tutkijan itse suorittama havainnointi tutkimuskohteessa ja perehtyminen kirjalliseen aineistoon. Koottu materiaali analysoidaan ja sen pohjalta tutkimuksessa esitetään johtopäätöksiä ilmiöistä ja tapahtumista sekä niiden taustalla vaikuttavista asioista. (Aaltio-Marjosola 1999)

Tapaustutkimus on erinomainen tutkimusstrategia, kun tutkimuskohteen todellisessa ympäristössä olevien ilmiöiden ja tapahtumien ymmärtäminen on tutkimuksen kannalta olennaista. Etuna tapaustutkimukselle onkin sen käytännönläheisyys ja olennaisimpana tutkimustuloksena on tutkimuskohteen luonteen ja toimintatapojen ymmärtäminen. (Aaltio-Marjosola 1999)

Kysely on toimiva tutkimusmenetelmä, kun samasta aiheesta on saatava tietoa suurelta joukolta kerrallaan. Kun kysely toteutetaan ns. puolijäsenneltynä tai jäsentelemättömänä kyselynä, kysymykset ovat avoimia ja niiden oikeellisuus määrittää, saako tutkija vastauksia oikeasta, tarkoittamastaan asiasta. Kysymysten sanat on pohdittava tarkoin, sillä vastaaja tulkitsee niiden ja vastaukselle määritellyn tilan suuruudesta halutun vastauksen pituutta. Kyselyn laadintaan tulee paneutua huolella, sillä tutkijalla on todennäköisesti vain yksi mahdollisuus kyselyn teettämiseen samasta asiasta. Tutkijalle on oltava ehdottoman selvää mitä tietoa hän tarvitsee ja kysymykset on aseteltava siten, että niitä ei voi tulkita muulla, kuin tutkijan haluamalla tavalla. Haasteena kyselylle on myös tutkijan kyky ymmärtää ja analysoida saamansa vastaukset kuten vastaaja on ne tarkoittanut. (Saunders *et al.* 2009)

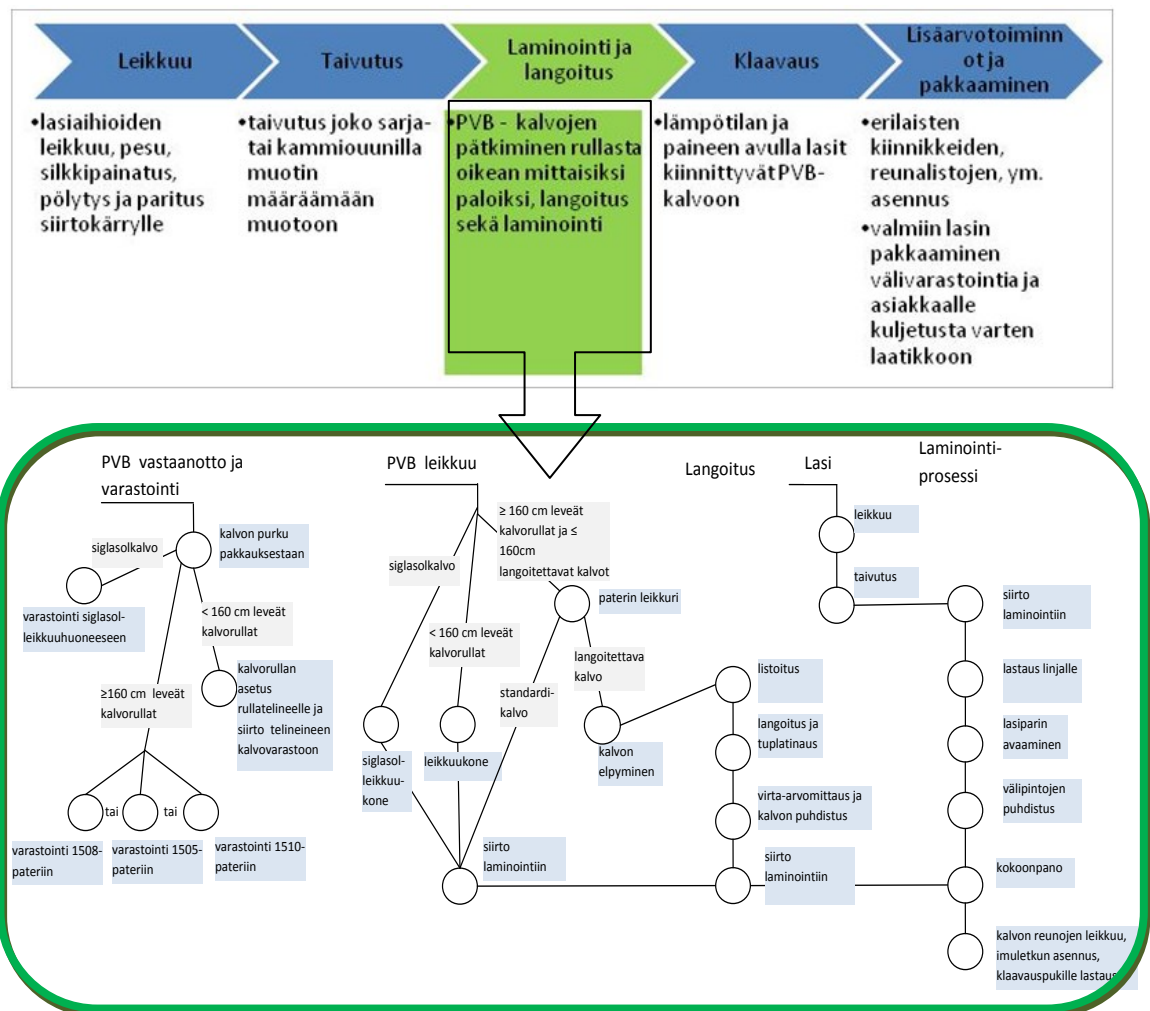
Haastattelu on tarkoituksenmukainen kahden tai useamman henkilön välillä käytävä keskustelu. Puolijäsennellyssä ja jäsentymättömässä haastattelussa haastattelijalla on lista aiheista joita hän haluaa keskustelun aikana käsitellä. Haastattelun luonne voi olla myös epämuodollinen. Menetelmää voidaan käyttää, kun tutkija kokee tarvetta ymmärtää tutkittavaa kohdetta tarkemmin. Tällöin haastateltavalle annetaan vapaus keskustella tapahtumista, ilmiöistä ja käyttäytymisestä suhteessa käsiteltävään asiaan. Haastatteluja puoltaa tutkiva työ ja vuorovaikutustilanteen mahdollistaminen, joka on tarpeen etenkin arkaluontoisten asioiden käsittelyssä. Haastattelu on käyttökelpoinen menetelmä tilanteissa, kun kysymyksiä on paljon tai ne ovat luonteeltaan avoimia. Myös mahdollinen tarve muuttaa keskustelun kulkua tilanteen mukaan tai tutkijan kokema tarve esittää tarkentavia kysymyksiä ovat haastattelutilanteessa mahdollisia (Saunders *et al.* 2009)

Kasvokkain tapahtuva keskustelu johtaa yleisesti ottaen kirjalliseen kyselyyn verrattuna suhteellisesti korkeampaan vastausmäärään. Haastattelun etuna on myös, että haastattelija voi itse valita haastateltavansa, toisin kuin kyselyssä, jonka jakelusta tutkimuksen tekijä ei voi olla täysin varma. (Saunders *et al.* 2009)

Kun tutkimusmenetelmänä käytetään haastattelua tai kyselyä, on tärkeää kiinnittää huomioita kysymysten asetteluun (Aaltio-Marjosola 1999). Puolijäsennellyssä tai jäsentymättömässä haastattelussa on tiedostettava luotettavuuden haasteet. Tutkija voi pohtia, olisiko jokin toinen menetelmä antanut saman tuloksen. Myös haastattelijan ja haastateltavan käytöksen vaihtelut voivat vaikuttaa haastattelun kulkuun ja lopputulokseen. Haastattelija saattaa huomaamattaan elekielellään tai kysymysten esittämistavallaan johdatella haastateltavaa. Haastattelijan tapa reagoida haastateltavan vastauksiin voi myös vaikuttaa lopputulokseen. Haastattelutilanteen osapuolten välinen luottamustaso ja keskinäinen organisatorinen asema vaikuttavat siihen, mitä ja miten haastateltava on halukas vastaamaan ja miten paljon hänellä on aikaa haastattelulle. (Saunders *et al.* 2009)

## 4. TULOKSET

Työn kohteena on PVB-kalvon esivalmistelu ja kokoonpano-osasto, jota kutsutaan laminointi- ja langoitusosastoksi. Lopputuotteeseen laminoitava PVB-kalvo varastoidaan, leikataan, langoitetaan ja laminoidaan Kuvassa 16 esitetyn mukaisesti. Määrämittaansa leikattu kalvo langoitetaan tuotemallin mukaisesti ja laminoidaan tuotteeseen.

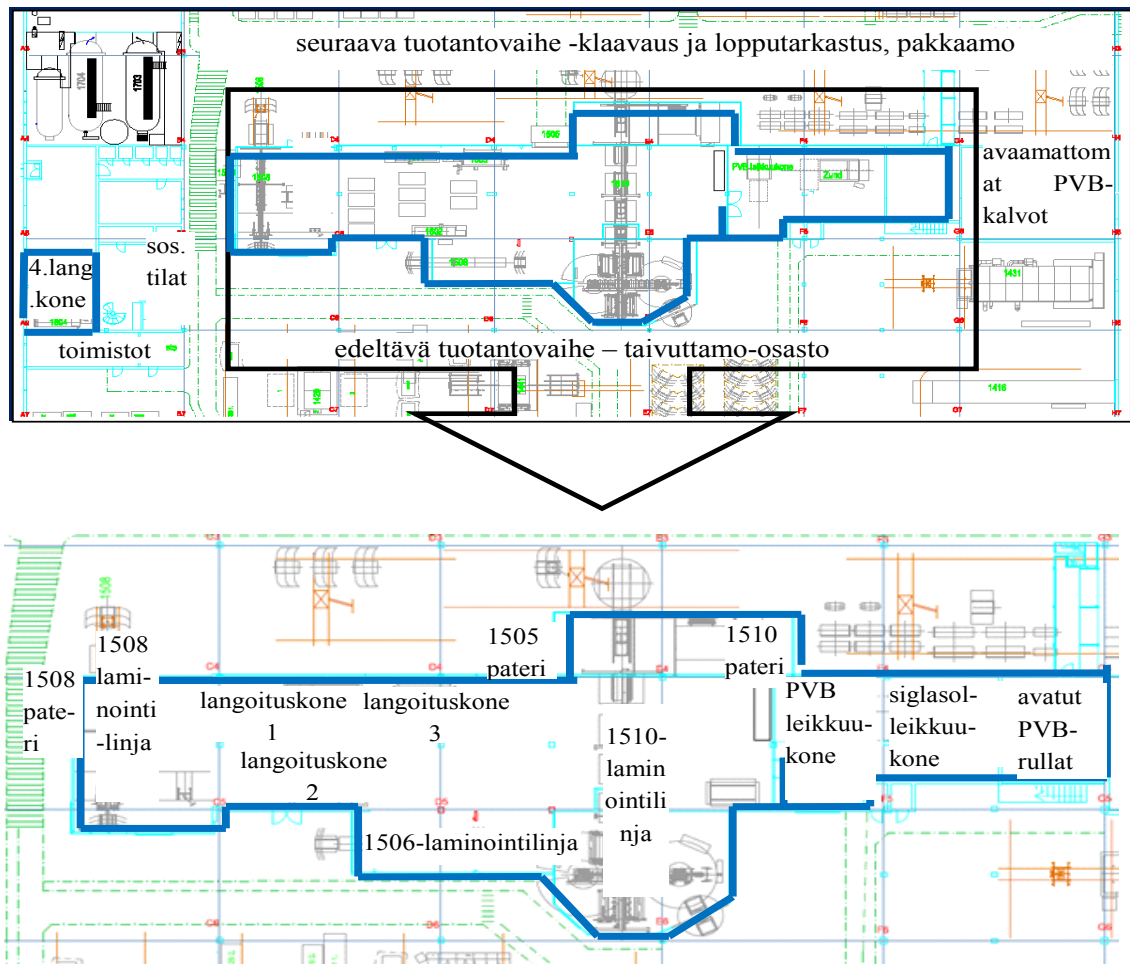


**Kuva 16.** Kalvojen esikäsittely- ja tuotteen kokoonpanoprosessit.



## 4.2 Nykytilan kuvaus

Kohdeosasto on muusta tehdastilasta seinin ja välikatolla rajattu alue, jossa tehdään kaikki PVB-kalvoon liittyvät prosessit. Kalvojen varastointi, esikäsittely ja kokoonpano edellyttävät paitsi muuta tehdastilaa korkeampaa ilmanpuhtauden tasoa, myös tarkkaan määriteltäviä ilmankosteus- ja lämpötilaolosuhteita. Kuvassa 17 puhdistila-alueet on merkitty korostetuin viivoin.



*Kuva 17. Nykyinen layout.*

Kohdeosaston layout on yhdistelmä eri layout-tyypeistä siten, että langoitustoiminnot on pyritty niputtamaan funktionaalisesti yhdeksi kokonaisuudeksi tilan keskialueelle ja kalvojen varastointi sekä esikäsittely pääosin omalle alueelleen. Varsinainen laminointiprosessi on tuotantotyyppiltään linjatuotantoa ja kokoonpanolinjat on sijoitettu eri puolille tilaa omiksi yksiköikseen, huomioiden niiden kalvotarve joko langoituksen tai kalvojen esikäsittelyn alueilta. Neljästä langoituskoneesta yksi on tilaratkaisuista johtuvista syistä sijoitettu erilleen muista. Erillään oleva langoituskone on esimerkki Toyotan nimeämästä eristetystä saaresta, riippumatta siitä, tarkasteleeko sen toimintaa muiden langoituskoneiden tai sen palveluita käyttävän laminointilinan näkökulmasta.

PVB-kalvon varastoinnissa käytetään kolmea erilaista ratkaisua. Tehtaalle saapuvat rullat varastoidaan pakkauksineen isoon kalvovarastoon, joka ei kuulu puhdastilaan. Pakkauksistaan avatut ja käyttöön otetut PVB-rullat voidaan puolestaan varastoida joko pienen kalvovarastoon tai kalvopatereihin. Leveydeltään alle 160 cm:n rullat varastoidaan niille suunnitelluilla, pyörin varustelluilla telineillä kalvovarastossa. 160 cm leveät ja suuremmat rullat varastoidaan kalvopatereihin, jotka ovat kapasiteetiltaan 14–18 rullan pystysuuntaisia varastoja, joihin rullat varastoidaan vaakatasossa yksittäin omille akselleilleen rullien kiertäessä paterissa korkeussuunnassa. Näitä varastoratkaisuja on kolme kappaletta ja ne on sijoitettu laminointilinjojen ja langoitusosaston läheisyyteen.

Kalvot leikataan määrämittaansa joko kalvoleikkuukoneella tai kalvopaterissa. (Liite 1). Tällöin vaihtoehtona on leikata paterista yksi kalvo kerrallaan laminointiprosessin tahdissa lasin tullessa kokoonpanovaiheeseen tai vaihtoehtoisesti leikata kalvot valmistuserittäin pöydälle, kuten erillisillä leikkuukoneilla toimitaan. Leikattuja kalvoja siirrellään tilassa pöydille pinottuina siten, että eri tuotesarjojen kalvot lajitellaan omille pöydilleen tai useamman valmistuserän kalvot pinotaan päällekkäin käyttöönottojärjestykseen. Lopputuotteiden ollessa kooltaan suuria, myös leikatut kalvot ja niiden siirtelyyn käytettävät pöydät ovat kooltaan suuria. Pöydät ovat kooltaan standardimittaisia, 2x3 metriä. Langoitusosasto ja kalvojen esikäsittelylaitteet palvelevat laminointilinjojen kalvotarvetta ja laminointilinjojen sijoittelu on pyritty toteuttamaan siten, että pöydillä liikuteltavat kalvot saadaan tuotua laminointilinjan välittömään läheisyyteen. Kalvojen esikäsittelyä ja leikkuuseen on työvuorosta riippuen määritetty 0-1 työntekijää. Esikäsittelytoimien ja osaston layoutin kannalta on huomioitava erikseen siglasol-kalvotyyppi. Tämän kalvotyypin varastointi, esikäsittely ja siihen tarvittavat laitteet eroavat muista kalvotyypeistä. Siglasol-kalvon esikäsittelyä varten tarvitaan oma leikkuukone, joka soveltuu ainoastaan kyseisen kalvon käsittelyyn. (Siglasol-kalvon leikkuuprosessi on kuvattu Liitteessä 2.) Näin ollen laitteen sijoittelussa on olennaista huomioida paitsi kalvorrullien kuljetusreitti varastolta laitteelle, myös määrämittaan leikattujen kalvojen määrää, sillä useat eri laminointilinjat käsittelevät siglasol-kalvoa edellyttäviä tuotteita.

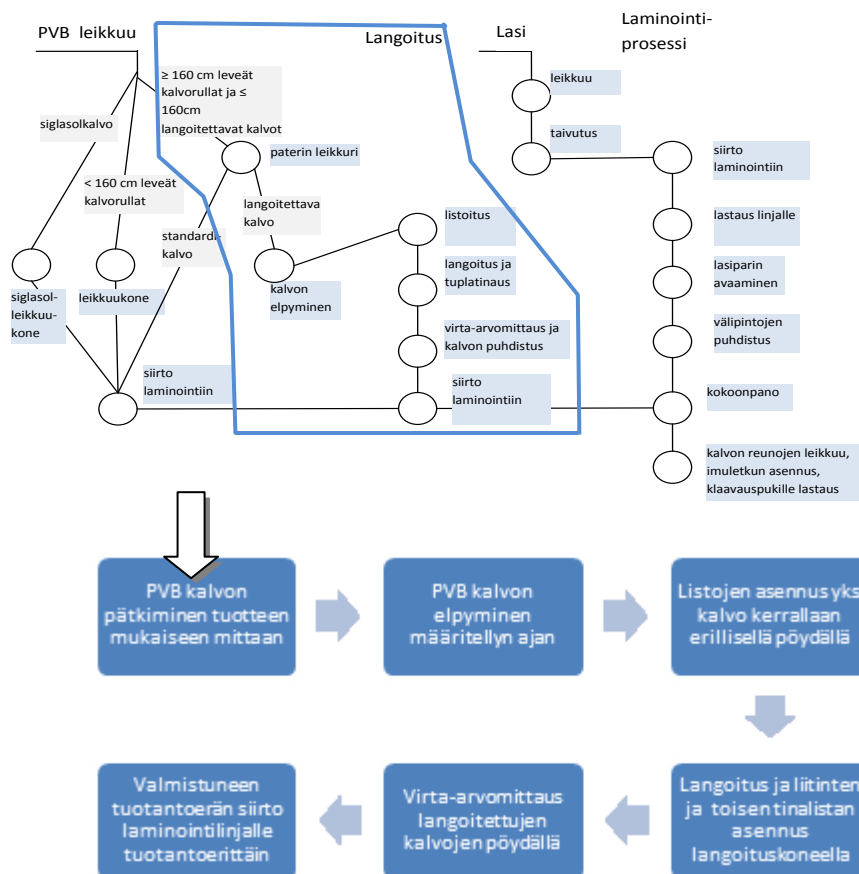
Laminointi- ja langoitusosaston prosessit määrittelevät merkittävän osan erilaisista tuotevariaatioista. PVB-kalvoja on käytössä useita erilaisia ja kalvon tyyppi vaikuttaa osittain myös sen esikäsittelyyn. Koska tuotevariaatioiden määrä on erittäin suuri, on tuotteet jaettu lisäarvo-ominaisuutensa mukaan standardi- lämmitettävä-, siglasol- ja monikerroslasin tuoteperheiksi. Tuotteen lisäarvo-ominaisuuksien ja fyysisen koon perusteella tuotteet on jaettu valmistettaviksi tietyillä laminointilinjoilla.

Etenkin alle 160 cm leveiden PVB-rullien käsittely leikkuuvaihetta varten aiheuttaa nykyisessä layoutissa erilaisia siirtely- ja odotustarpeita. Välimatka kalvovarastolta tarvittaville laminointilinjoille tai langoitukseen on melko pitkä ja matkan varrella rulla on kuljetettava yhden laminointilinjan läpi. Rullia ei voi käytön jälkeen jättää pitkäksi aikaa odottamaan takaisinkuljetusta varastolle, koska riskinä on kalvon kuivuminen, josta seuraa materiaalihävikkiä.

Kaikki avatut, erillisessä varastossa säilytettävät rullat on myös suojattava kelmulla varastoinnin ajaksi. Kelmu poistetaan ennen leikkuuvaihetta ja uusi kelmu asennetaan leikkuuprosessin päätteeksi. Kelmuttaminen aiheuttaa lisäsiirtelyn tarvetta sekä edellyttää kalvoleikkuualueelta oman tilansa.

#### 4.2.1 Langoitus

Lämmitettävät tuotteet edellyttävät ennen laminointivaihetta PVB-kalvojen langoitusprosessin. Langoitusprosessia varten kalvot pätkitään rullasta tuotteen koon mukaan, jonka jälkeen niiden annetaan vetäytyä ohjeistetun ajan pöydällä mahdollisten laatuongelmien estämiseksi. Tämän elpymiseksi kutsutun vaiheen jälkeen kalvot voidaan ottaa yksi kerrallaan käsiteltäväksi langoitusprosessiin. Langoituksessa PVB-kalvoon kiinnitetään tuotemallin mukaan tinalistat ja volframilangat. Langoitetut kalvot ladotaan pöydälle, jossa niistä mitataan virta-arvot ja valmistuserän valmistuttua pöytä siirretään oikean laminointilinjan läheisyyteen. Prosessi on esitetty Kuvassa 18.



*Kuva 18. Langoitusprosessi.*

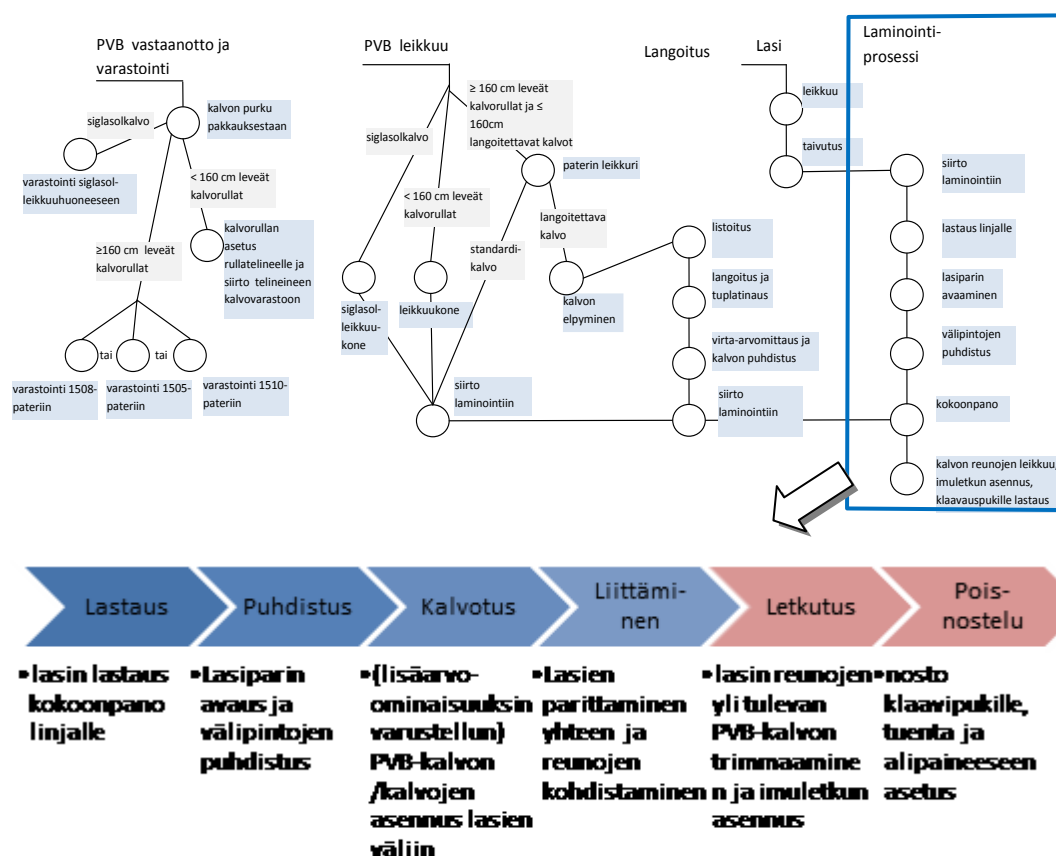
Langoitusprosessi muodostaa pysähdyksen tuotantoprosessin materiaalivirtauksiin kahdella eri tavalla. Kalvojen materiaalivirtaus pysähtyy kalvojen elpymisprosessin ajaksi. Tämä vaihe on kuitenkin tuotelaadun kannalta merkittävä ja olisi mahdollisesti poistettavissa vain tilanteissa, jossa tuotteita käsiteltäisiin koko tuotantoprosessissa yksittäisinä kappaleina, tuotantoerittäin valmistamisen sijasta. Langoitusprosessi kokonaisuudessaan aiheuttaa puolestaan lasin materiaalivirtauksen pysähtymistä. Kalvot leikataan vasta, kun kaikki saman tuotantoerän muodostavat lasit ovat valmistuneet edeltävästä tuotantovaiheesta. Tällä pyritään ehkäisemään ylimääraisten kalvojen leikkuuta, mahdollista turhaan tehtyä tinalistojen ja volframilankojen asennusta ja siten turhaa työtä ja materiaalihävikkiä. Taivutetut lasit odottavat taivuttamon ja laminoinnin välivarastossa, kunnes tuotantoerän kalvot on leikattu, ne ovat elpyneet ja langoitusprosessi on kokonaan valmis.

Langoitusprosessi edellyttää useamman 2x3 m kokoisen pöydän käyttöä. Elpyneet kalvot ovat omalla pöydällään siten, että useamman tuotantoerän kalvot on pinottu siihen päällekkäin ja eroteltu toisistaan tunnistetiedoin. Listoituvaihe suoritetaan omalla pöydällään, johon otetaan käsiteltäväksi yksi kalvo kerrallaan. Listoitettu kalvo nostetaan vapaana olevalle langoituskoneelle langoitusprosessia sekä toisen tinalistan asennusta varten. Yhdelle langoituskoneelle mahtuu kerrallaan keskimäärin yhdestä kolmeen kalvoa. Itse langoitusprosessin ajallinen kesto riippuu langoitettavan alueen suuruudesta ja käytettävän langoituslangan vahvuudesta. Koneen työskennellessä työntekijät käsittelevät prosessissa olevia muita kalvoja. Langoituskoneella suoritettavien työvaiheiden valmistuttua, kalvo nostetaan jälleen pöydälle, johon pinotaan päällekkäin kerrallaan vain yhden tuotantoerän kalvot. Poikkeuksena toimii langoitusrumpu numero neljä, jonka toimintaa kuvaillaan työn kappaleessa 4.4.2.

Kalvojen siirtely pöydältä toiselle, pöydältä koneelle ja päinvastoin tehdään käsin. Kalvojen koot määräytyvät tuotteen koon mukaan, joka on keskimäärin kolme neliometriä. Toistuvan käsin tehtävän siirtelyn ja prosessin sujuvuuden vuoksi, työntekijät auttavat toisiaan kalvojen nostelussa. Kolmea langoituskonetta käyttää työvuorosta riippuen 2-3 työntekijää ja erikseen sijoitetulla koneella, jossa käsitellään kooltaan pieniä kalvoja, työskentelee yksi henkilö. Kalvojen käsittely prosessivaiheiden välillä edellyttää, että pöydät ja langoituskoneet on sijoitettu toisiinsa nähden lähekkäin.

#### **4.2.2 Laminointi**

Kokoonpano, eli laminointiprosessi on pääpiirteiltään tuotemallista riippumatta samanlainen, mutta tuotteen fyysiset mitat, muoto sekä tuotemalli, joka määrittää tuotteen mahdolliset lisäarvo-ominaisuudet, muuttavat hieman prosessia. Laminointiprosessi on esitetty Kuvassa 19.



Kuva 19. Laminointiprosessi.

Lisäarvo-ominaisuudesta riippuen, se vaikuttaa ennen kaikkea kalvotusvaiheeseen, mutta joissakin tapauksissa myös letkutussvaiheeseen. Kuvaan 19 punaisella merkityt työvaiheet, letkutus ja poistostelu, tehdään puhdistila-alueen ulkopuolella, tehdastilassa. Tuote siirretään puhdistilasta letkutussvaiheeseen kuljetinta pitkin.

Kokoonpanolinjoja on kolme kappaletta ja ne ovat rakenteeltaan keskenään erilaisia, vaikka niiden toiminnot ovat pääpiirteittäin keskenään samat. Eri tuoteperheet on jaettu linjoittain, huomioiden linjan tekninen rakenne ja toimivuus Taulukossa 3 esitetyn mukaisesti.

**Taulukko 3.** *Laminointilinjojen tuoteperhejako ja henkilöstömäärä.*

Laminointilinja	Tuoteominaisuudet	Henkilöstömäärä
1510	<ul style="list-style-type: none"> <li>• isot ja keskisuuret tuotteet</li> <li>• standardiominaisuudet</li> <li>• myös joitakin siglasol-tuotteita</li> </ul>	5
1508	<ul style="list-style-type: none"> <li>• isot ja keskisuuret tuotteet</li> <li>• lämmitettävät, siglasol ja monikerrostuotteet</li> </ul>	4
1506	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keskisuurta pienemmät tuotteet</li> <li>• standardi- ja lämmitettävät tuotteet</li> </ul>	2-3

Nimeltään 1510 laminointilinja on tarkoitettu pääasiassa suurten ja keskisuurten standardilasien valmistukseen, jotka eivät sisällä laminointiprosessin kannalta merkittäviä lisäarvo-ominaisuuksia. Laminointilinja 1508 on tarkoitettu puolestaan suurten ja keskisuurten lämmitettävien, siglasol- ja monikerroslasien laminointilinjaksi, joiden kokoonpanoprosessi vaihtelee toisiinsa nähden kohtalaisesti. Kolmannella linjalla, nimeltään 1506, käsitellään keskisuurta pienemmät standardi- ja lämmitettävät tuotteet. Myös näiden tuotteiden kokoonpanoprosessi vaihtelee toisiinsa nähden jonkin verran. Linjojen teknisestä rakenteesta ja tuotteista riippuen, niillä työskentelee 2-5 työntekijää ja lisäksi yksi yhteinen järjestelijä, joka vastaa kaikesta kalvorullien käsittelystä varastoinnista rullien kuljettamiseen laminointilinjalle tai PVB-pateriin. Järjestelijän tehtävä on myös siirtää laminoitavat tuotteet välivarastosta laminointilinjoille, joissa käsitellään kerrallaan yhdestä neljään lasiparia. Linjoilla työskennellään valtaosin manuaalisesti, jolloin tuotteiden valmistusaika määräytyy sekä valmistettavan tuotteen että linjan teknisten ominaisuuksien ja linjaoperaattoreiden työskentelyrytmin yhteisvaikutuksena.

### 4.2.3 Layout-suunnittelun tarve

Nykyisen layoutin arviointitarve nousi esille etenkin liiketoiminnallisista tekijöistä, sillä osa valmistettavista tuotteista on ennustettu lähitulevaisuudessa muuttuvan tuotemalliltaan ja joidenkin tuotteiden valmistusmääriin ennustetaan merkittäviä muutoksia. Nämä yhdistettynä osastolla havaittuihin materiaalivirtauksen haasteisiin ovat nostaneet esiin huolen, että osaston prosessit eivät pysty käsittelemään kapasiteettinsa ja laitekantansa puolesta muutosten tuomia tuotemalleja ja valmistusmääriä.

Tuotemallimuutos aiheuttaa oleellisia muutoksia kalvojen esikäsittelyyn ja itse kokoonpanoprosessin työskentelymenetelmiin. Muutokset työskentelymenetelmissä tulevat vaikuttamaan myös prosessin vaihe aikoihin, jolloin niiden valmistusta ei voida suoraan integroida nykyiseen tuotantoympäristöön ilman kokonaiskapasiteetin tarkastelua. Myös muita tuotemuutoksia on lähitulevaisuudessa odotettavissa.

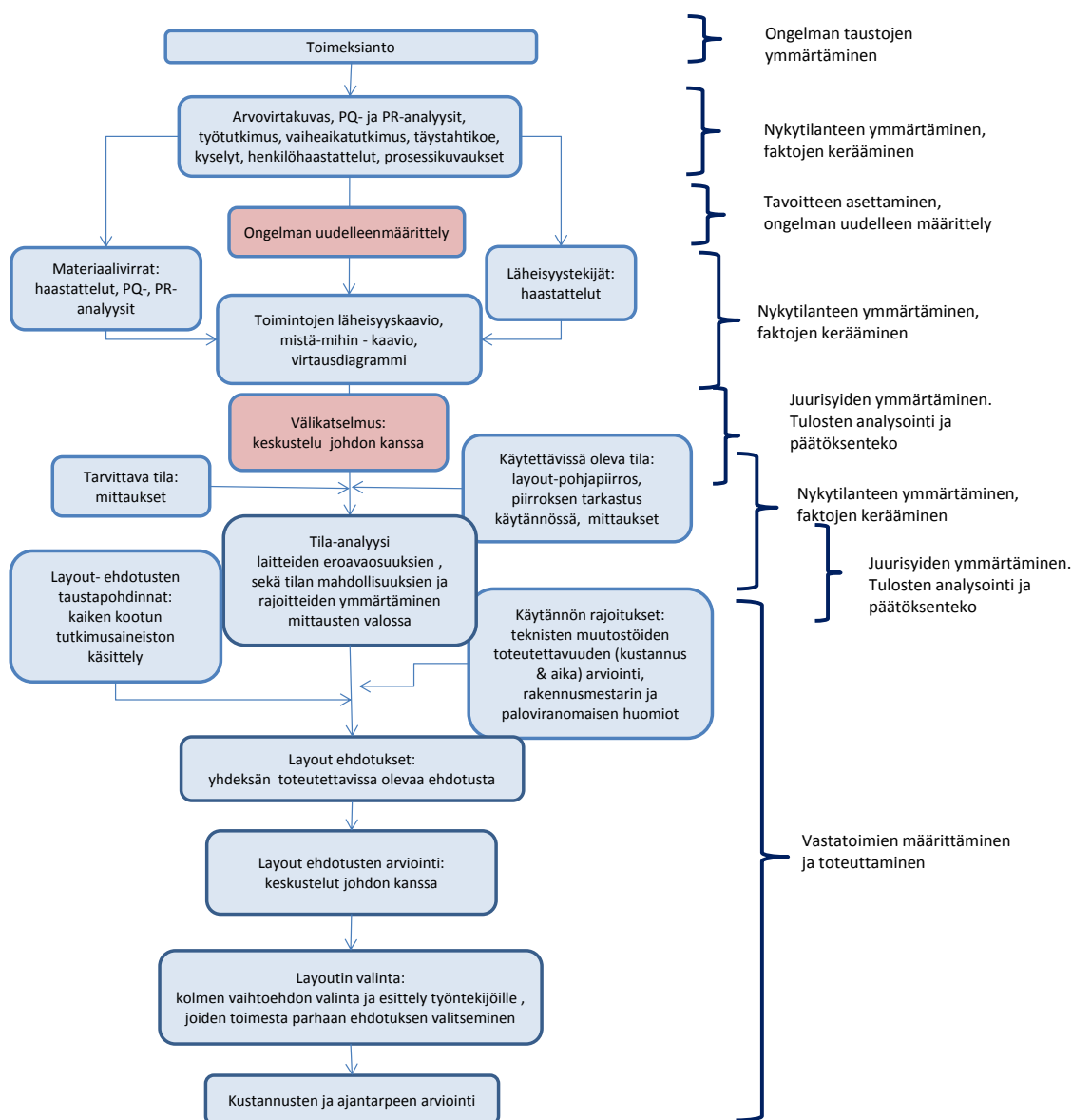
Joitakin siglasol-tuotemalleja poistuu, joidenkin pienikokoisten standardituotemallien valmistusmäärä on puolestaan jo voimakkaassa kasvussa ja saman tuoteperheen toisen tuotteen myyntimääriin ennustetaan kasvua. Lähitulevaisuudessa on myös mahdollisuus vielä edellä mainitun uuden tuotemallin lisäksi toiseen uuteen tuotemalliin, jonka kalvon esivalmistelu ja kokoonpano poikkeavat nykyisistä tuotemalleista.

Toisena tekijänä layout-arvioinnin tarpeelle on lisäarvotuotteita käsittelevän 1508-laminointilinjan tuotantomäärän vaihtelu, joka näkyy materiaalivirtausten pysähtymisenä kohdeosaston eteen, aiheuttaen ylityötarpeita ja tuotteiden kokoonpanoa vaihtoehtoisilla laitteilla asiakkaalle vahvistetun toimituspäivän toteuttamiseksi. Vaihtoehtoiset laitteet eivät ole kuitenkaan optimaalisia niille ei-tyypillisten tuotteiden kokoonpanoon, eivätkä niiden operaattorit välttämättä hallitse erilaisten lisäarvo-ominaisuuksien edellyttämiä työvaiheita parhaalla mahdollisella tavalla.

Lisäksi osastolla on haasteita 1506-laminointilinjan materiaalivirtaukseen ja ergonomiaan liittyen. Linjan sijoittelu osastolla ei tue optimaalisia materiaalivirtoja kalvojen esikäsittelyvaiheelta linjalle ja tuotteiden virtausta linjalta eteenpäin seuraavalle prosessivaiheelle. Linjan työntekijät käyttävät työaikaa pitkiin edestakaisiin kävelymatkoihin hakiessaan tarvikkeita ja suorittaessaan työtehtäviin liittyvää informaationvaihtoa eri sidosryhmien kanssa.

### **4.3 Suunnitteluprosessin kuvaus**

Ongelmaa lähestyttiin sen juurisyiden ymmärtämiseksi A3 mallin ja Santosin (2006), Francisin (1974), ja Mutherin (1955, 2015) esittämän systemaattisen ongelmanratkaisun sekä Mutherin *et al.* (2015) layout-suunnittelumenetelmän vaiheita seuraten. Suunnitteluprosessin viitekehys on esitetty Kuvassa 20.



**Kuva 20.** Layoutin suunnitteluprosessi (mukaillen Muther 1955, Francis et al. 1974; Santos et al. 2006; Shewale 2012; Muther et al. 2015; A3 Problem-Solving; Sarkar, Sobek).

Aluksi määriteltiin käsiteltävä ongelma. Toimeksiannossa esitettiin kolme pääongelmaa, jotka uudella layoutilla haluttiin ratkaista. Ensimmäinen ongelma on muuttuva tuotemalli, joka tulee aiheuttamaan kapasiteettihaasteita. Uusi tuotemalli edellyttää tilaratkaisua kalvonvalmisteluprosessia sekä itse kokoonpanoprosessia varten. Toinen ongelma on tuotantomäärän vaihtelu josta seuraa materiaalivirtojen kasautumista kohdeosaston eteen ja siten ylityö- ja valmistusreittien siirtelytarvetta. Kolmas ongelma on yhden kokoonpanolinjan ergonomiset ja materiaalivirtaukseen liittyvät ratkaisut.

Lisäksi suunnitteluprosessissa oli otettava huomioon rajaukset kalvovarastojen ja tiettyjen laminointilinjojen sijainnista sekä tilaan tehtävien muutosten pitäminen kohtuullisina, sillä tarkoitus oli saada resurssit huomioiden lähitulevaisuudessa toteutettavissa oleva ratkaisu.



**Faktojen keräämisessä** tavoitteena oli ymmärtää nykytilanne, jonka työkaluna käytettiin **arvovirtakuvausta** sekä **PQ- ja PR-analyyssejä**. Arvovirtakuvauksessa kerättiin tietoa valmistettavista tuotteista, niiden valmistusmääristä, -reiteistä sekä kohdealueen eri prosesseista. Arvovirtakuvauksessa oli olennaista huomioida myös lähitulevaisuuden näkymät tuotemallimuutoksista, niiden vaikutuksista laitekantaan ja nykyisten tuotemallien mahdolliset menekkimuutokset. Kuvausta varten oli koottava ja yhdistettävä dokumentoidun aineiston ja prosessin tapahtumapaikalla tehtyjen havaintojen tulokset. Prosessin kehittämisen ja laadun parissa työskentelevät asiantuntijat kertoivat sekä nykyisten että uusien, kehitysvaiheessa olevien tuotteiden valmistusprosessista, materiaaleista, haasteista sekä niiden asettamista vaatimuksista laitekantaan ja layoutiin. Valmistettavista tuotemalleista laadittiin PQ- ja PR-analyysit, jotta saatiin käsitys tuotteiden ominaisuuksien jakautumisesta valmistuslaitteittain. Esille nousi myös lisäkysymyksiä prosessien toimintatavoista ja tuloksista, joiden tarkempi tutkiminen oli olennaista määriteltäessä tarvittavien valmistuslaitteiden kokonaismäärää ja tuotteiden valmistusreittejä layout-ehdotuksissa. Näihin kysymyksiin syvennettiin toteuttamalla laitekohtaisia tarkentavia tutkimuksia soveltuvin menetelmin.

Tarkennettujen tutkimusten avulla saatiin ymmärrystä näkyvien ongelmien taustalla vaikuttavista juurisyistä ja alkuperäiset **ongelmat voitiin muotoilla toisin**:

1. Uuden tuotemallin valmistusresurssia koskevan ongelman kohdalla tavoitteeksi tarkentui kalvon esivalmistelun edellyttämän tilan määrittäminen ja nykyisen 1506-linjan teknisen muokkauksen tarve puuttuvan tuotantokapasiteetin järjestämiseksi.
2. Ongelma valmistusmäärän vaihtelusta tarkentui laminointilinjasta riippuen joko käyttöasteen, kokoonpanoprosessin vaiheikavaihteluun tai laitteen käyttötapaan, jotka aiheuttivat linjojen osittaista kapasiteetin hyödyntämistä.
3. Kolmas ongelma tarkentui ergonomisten ja materiaalivirtaukseen liittyvien puutteiden lisäksi laitteen teknisiin ratkaisuihin valmistettaviin tuotevariaatioihin nähden. Nämä tekniset heikkoudet toivat esille, että linjan kapasiteettia pystyttiin hyödyntämään vain osittain.

**Materiaalivirtauksien** tutkimisessa hyödynnettiin arvovirtakuvauksessa käsiteltyä dataa, PQ- ja PR-analyyssejä, mutta tietoa kerättiin myös henkilöhaastatteluilla. Eri työtehtävissä työskentelevien työntekijöiden kanssa käytiin puolijäsenneltäviä keskusteluja materiaalien kuljetusmenetelmistä, kuljetustaajuuksista, reiteistä sekä kuljetusmenetelmien mielekkyydestä. Näiden ja PQ- sekä PR-analyysien tiedoista koottiin niin kutsuttu **mistä-mihin - kaavio**, jossa kuvattiin eri toimintojen välisten materiaalivirtojen suuruutta, huomioiden myös kohdeosastoa edeltävä ja seuraava prosessivaihe. Henkilöhaastatteluilla pyrittiin kartoittamaan myös laitekohtaisia tai itse työn tekemiseen liittyviä rajoitteita. Tällaisia olivat esimerkiksi näennäisesti keskenään samanlaisten langoituskoneiden soveltuvuudet erilaisten tuotteiden valmistukseen sekä suunnittelussa huomioitavat, työn tekemiseen liittyvät ei-toivotut ratkaisut.

Suunnittelukohteen eri **toimintojen välisiä suhteita** kartoitettiin yhdessä materiaalivirtaukseen liittyvien haastattelujen kanssa. Tutkimuksessa selkiytyi, että merkittävin eri toimintojen välisten, keskinäisten riippuvuuksien tekijä aiheutui materiaalivirroista, sillä muita palvelutoimintoja oli alueella käytännössä erittäin vähän. Varsinaisen palvelutoiminnon vähyden vuoksi riippuvuussuhteet kuvattiin materiaalivirtojen voimakkuuksiin perustuvana kaaviona, johon kirjattiin myös selitykset eri riippuvuussuhteen tärkeydestä. Erilaisia syitä olivat esimerkiksi erilaisista PVB-kalvolaaduista ja esikäsittelyvaiheista johtuvat laitteiden käyttötarpeet.

Tutkimusaineiston **analysoinnin** jälkeen käytiin työn jatkotoimenpiteiden kannalta tärkeä keskustelu tuotannon ja tehtaan johdon kanssa. Keskustelussa katselmoitiin saadut tutkimustulokset ja alustavat näkemykset uuden tuotemallin valmistuspaikasta, ergonomisesti haastavan laminointilinjan havaituista teknisistä puutteista sekä pienien, manuaalisesti käsiteltävien tuotteiden valmistustavasta. Layout-suunnittelun kannalta keskustelun merkittävä **päätös** oli, että pienet tuotteet siirretään valmistettavaksi niille perustettavaan valmistussoluun, pois 1506-linjalta. Toinen merkittävä päätös oli, että ergonomisten ja teknisten ratkaisujensa vuoksi suuria muutoksia vaativa 1506-laminointilinja on järkevintä rakentaa kokonaan uudelleen ja muokata siitä samalla keskisuurten ja suurten tuotteiden laminointilinja. Tällöin se voi toimia uuden tuotemallin tuotantolaitteena ja tekee mahdolliseksi siirtää vaiheajoiltaan muista tuotteista merkittävimmän poikkeavia tuotteita pois 1508-linjalta valmistettavaksi uudella linjalla.

Olennaista oli ymmärtää myös alueen työntekijöiden kokemuksia ja näkemyksiä nykyisestä layoutista ja siellä työskentelystä. Henkilöstön näkemyksiä kartoitettiin ensin puolijäsennellyllä kyselyllä ja sitten heikon vastausmäärän vuoksi puolijäsenneltynä haastatteluina. Haastattelukysymykset käsittelivät itse prosessia, siinä huomioitavia näkökohtia, turvallisuutta, työn sujumista, haasteita, toimiviksi koettuja ratkaisuja sekä mahdollisia toiveita tulevalle layout-ratkaisulle.

Pääasiassa tuotannon ruokataukojen ja lomapäivien aikana tehtiin **käytettävissä olevan tilan sekä sijoitettavien laitteiden**, tarvikkeiden ja työskentelyvälineiden pituus-, korkeus-, ja leveystietojen **mittaukset**. Mittauksissa huomioitiin myös itse työnteon ja prosessissa käytettävien kalvopöytien siirtelyn edellyttämä tilan tarve.

Näiden tietojen pohjalta aloitettiin **varsinainen suunnittelutyö**. Suunnitteluperiaatteina olivat henkilöstön toiveiden ja näkemysten kunnioittaminen etenkin työhyvinvointiin ja työskentelyn sujumiseen liittyen, työn toimeksiannossa annettujen rajoitteiden sekä yleisten layout-suunnittelu- ja Lean-periaatteiden huomioiden. Prosessi eteni vaiheittain siten, että ensin oli ratkaistava ongelman asettelussa esitetty materiaalivirtauksen kannalta epäoptimaalisen linjan uudelleen sijoittelu. Linjan rakenne päätettiin johdon kanssa käydyssä keskustelussa muuttaa, joten linjan edellyttämän tilan tarpeen määrittelyssä käytettiin verrokkina muita laminointilinjoja. Toisena vaiheena ratkaistiin johdon kanssa käydyssä välikeskustelussa tehty päätös valmistussolun perustamisesta.

Nämä kaksi muutosta aiheuttivat jo itsessään tiettyjä seurauksia muiden laitteiden sijoitteluun. Kunnossapito-osaston esimiehen kanssa kartoitettiin alustavia suunnitelmia käytännön toteutettavuuden kannalta. Tavoitteena oli laatia lyhyen aikavälin ehdotuksia, jotka voitaisiin realistisesti resurssit huomioiden toteuttaa, joten tekninen näkemys erilaisten vaihtoehtojen toteutettavuudesta niin ajallisesti kuin rahallisestikin oli olennaista.

Erilaisia layout-vaihtoehtoja syntyi useita, osan karsiutuessa kokonaan pois ja osan puolestaan muuttuessa suunnittelutyön edetessä tarkemmalle tasolle, kun tieto käytettävissä olevan tilan rakenteista, rajoitteista ja mahdollisuuksista tarkentui eri asiantuntijoita konsultoidessa. Johdon arvioitavaksi annettiin lopulta yhdeksän vaihtoehtoa. Vaihtoehtojen arviointi tehtiin aluksi karkeasti hylkäämällä sellaiset ratkaisut, jotka katsottiin suoraan olevan tuotannon tehokkuuden ja materiaalivirtojen näkökannalta selkeästi heikompia muihin nähden. Myös vaihtoehdot, jossa työskentelyyn koettiin tulevan liiaksi tarvikkeiden ja työvälineiden toistuvaa järjestelyä, karsiutuivat arviointien edetessä pois. Arviointikierroksia käytiin viisi, jonka jälkeen jäljellä oli kolme vaihtoehtoa. Nämä kolme vaihtoehtoa esiteltiin työsuojeluvaltuutetulle ja työsuojelupäällikölle, jotka antoivat omat näkemyksensä ja arvionsa ehdotuksista terveys- turvallisuus- ja työssä viihtymisen näkökulmista. Tämä arviointi ei pudottanut yhtään vaihtoehtoa pois ja näin ollen kuudennessa keskustelussa vahvistettiin kolme vaihtoehtoa, joista johto valitsi mielestään parhaan. Kaikki kolme vaihtoehtoa annettiin työntekijöiden arvioitavaksi, joista he valitsivat mielestään parhaan. Operaattorit päätyivät valinnassaan johdon kanssa samaan vaihtoehtoon, josta laadittiin kustannusarviot.

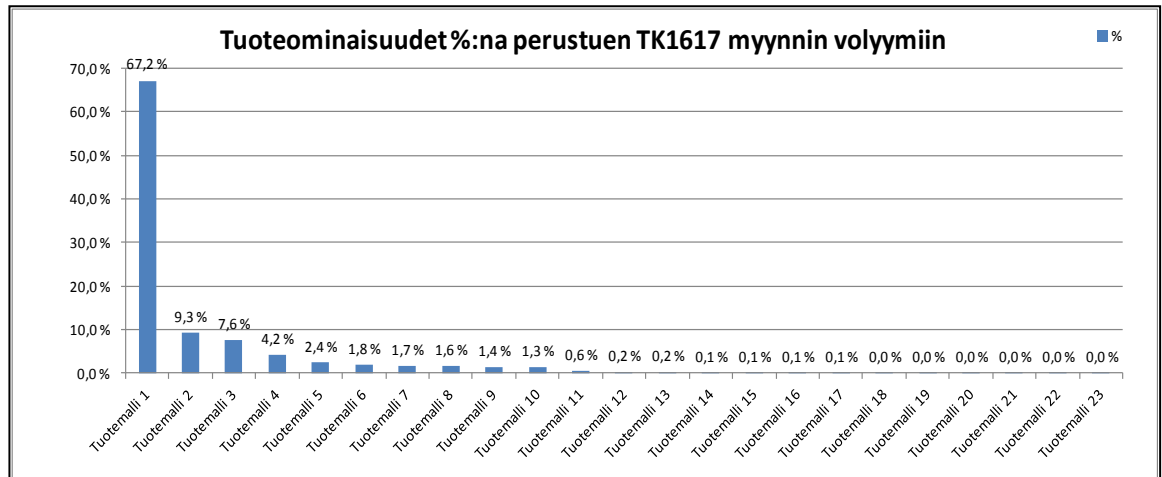
#### **4.4 Keskeiset tulokset**

Kvantitatiivisen tutkimusaineiston keräyksessä ja tutkimisessa käytettiin tilikauden 2016/2017 tietoja. Tämä tarkoitti käytännössä 1.4.2016 - 31.3.2017 välistä aikakautta. Lisäksi huomioitiin työn toteutuksen aikana tuotantoprosessissa nähtävissä olevat tuotemallimuutokset. Lähitulevaisuuden tuotemalli- ja menekkimuutoksista kerättiin aineistoa myyntiorganisaatiolta ja tuotannon eri asiantuntijoilta, jotka kertoivat näkemyksiään tuotemallimuutosten odotettavissa olevista vaikutuksista tuotantoprosessiin.

Tuloksissa esitellään PQ- ja PR-analyysien ja linjakohtaisten syventävien tutkimusten tuloksia, mistä-mihin - kaavio sekä virtausdiagrammi työn lähtötason hetkellä sekä tulevaisuudessa, tuotemallimuutosten ja tuotemenekkimuutosten aiheuttamien vaikutusten valossa. Tuloksissa esitellään myös parhaaksi valittu layout-malli ja sen edellyttämät tekniset muutokset sekä esitetään muita kehitystoimenpiteitä, jotka ovat tarpeen uuden layoutin toteutuessa.

#### 4.4.1 PQ- ja PR-analyysit

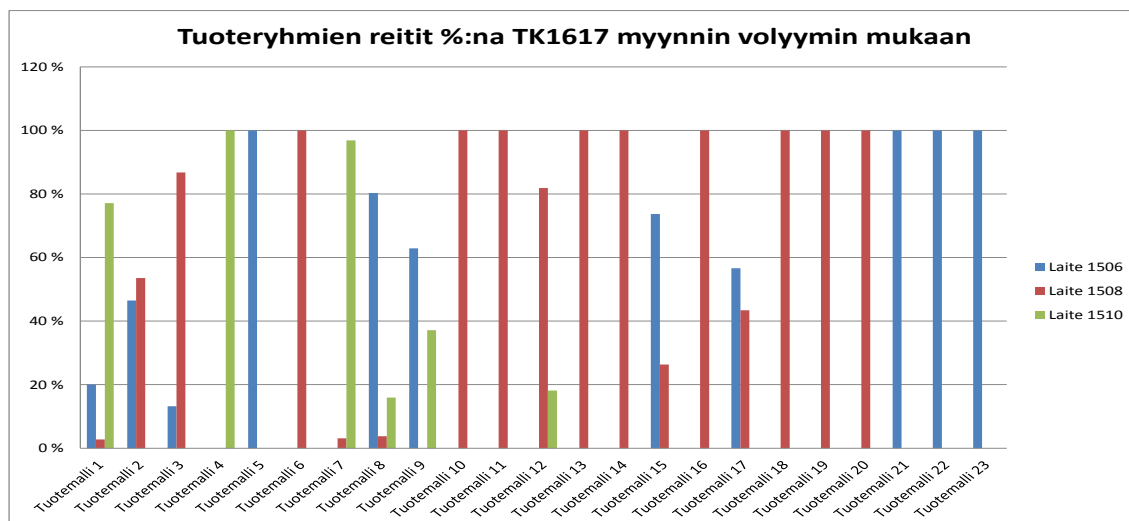
Tuotemalleja tutkittiin PQ-analyysillä, jossa kuvattiin kaikki erilaiset nykyisen tuotannon kokoonpanoprosessiin vaikuttavat lisäarvo-ominaisuuksien yhdistelmät. Nykyisellä tuotantomäärällä erilaisia tuotemalleja esiintyi 23 kappaletta ja niiden keskinäinen jakautuminen myyntimäärän perusteella on esitetty Kuvassa 21.



*Kuva 21. PQ-analyysi nykyisestä tuotevalikoimasta.*

Analyysi osoittaa, että yksi tuoteryhmä erottuu valmistusmäärältään muista malleista, jolloin kyseisen kategorian tuotteet olisi järkevää valmistaa massatuotantona. Nykytilanteessa näin pitkälti onkin, sillä yksi laminointilinja on tarkoitettu pääasiassa Tuotemallin 1 tuotteiden valmistukseen. Vain kooltaan poikkeavat kyseisen tuotemallin tuotteet valmistetaan muilla linjoilla.

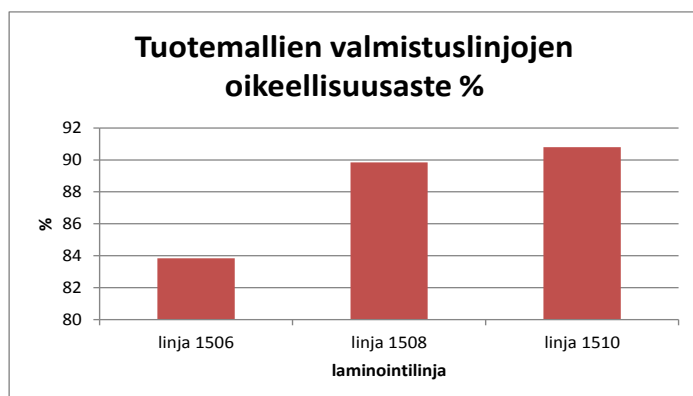
PR-analyysin avulla selvitettiin tuotemallien tehdasjärjestelmään määritellyt laminointilinjat. Kuvan 22 analyysistä ilmenee tuotteiden jako paitsi lisäarvo-ominaisuutensa, mutta myös fyysisten mittojen puolesta eri valmistuslinjoille, joka selittää osittain sen, miksi useita samoja tuotemalleja on reititetty eri kokoonpanolinjoille.



**Kuva 22.** Nykyisen tuotevalikoiman jakautuminen eri valmistuslinjoille.

Analyysistä käy ilmi, että 1506- ja 1508-laminointilinjojen erilaisten tuotemallien määrä on laajempi 1510-linjaan verrattuna. 1508-linjalla käsitellään 17 erilaista tuoteryhmää ja 1506-linjalla vastaava luku on 11. Näistä malleista, 4-9 mallissa määritelty linja on tuotteen ainoa reitti, eli kyseisen tuotemallin valmistusaste on määrättyllä laitteella 100 %.

Työn toimeksiantovaiheessa tiedettiin, että 1508-linjan tuotantomäärävaihtelut toivat toistuvaa tarvetta valmistaa tuotteita järjestelmään määritellystä linjasta poikkeavasti, joten tutkimuksessa tarkasteltiin myös muulla kuin järjestelmään määritellyllä linjalla valmistettujen tuotantomäärien osuutta linjoittain Kuvan 23 mukaisesti.

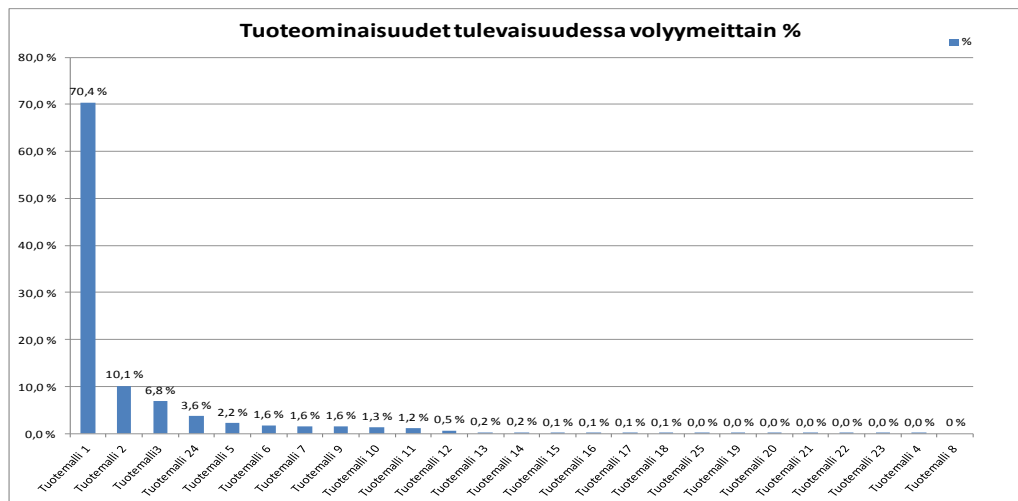


**Kuva 23.** Tuotteiden toteutuneen valmistuslinjan oikeellisuusprosentit.

Analyysi kertoo eri laminointilinjojen valmistusmäärän mukaan, montako prosenttia tilikauden aikana valmistetuista tuotteista on valmistettu järjestelmään määritellyllä laitteella. 1508-linjan tuotteiden valmistusmäärä muulla kuin määritellyllä linjalla oli odotettua parempi, mutta toisaalta tuotesiirtomahdollisuudet muille linjoille ovat rajalliset tuotteiden koon ja lisäarvo-ominaisuuksien vuoksi. 1506-linjan vaihtoehtoisten valmistuslinjojen käytön määrä yllätti kuitenkin suuruudellaan.

Tarkempi tarkastelu osoitti luvun muodostuvan kuitenkin pääasiallisesti kahdesta eri tuotteesta, joista toinen oli tuotevalikoimasta poistumassa oleva suurimenekkinen malli.

Valmistuksen tuotemallimuutoksia oli jo parhaillaan toteutumassa, yhden valmistusmäärältään suuren tuotteen valmistuksen päättyessä ja toisen tuotteen valmistusmäärän merkittävästi kasvaessa. Nämä, kuten myös toimeksiannossa tarkoitettu lähitulevaisuuden tuotemallimuutos oli huomioitava PQ- ja PR-analyysissä, vaikka niiden tulevat valmistusmäärät eivät olleetkaan vielä täysin selvillä. Lähitulevaisuuden PQ-analyysi on esitetty Kuvassa 24.

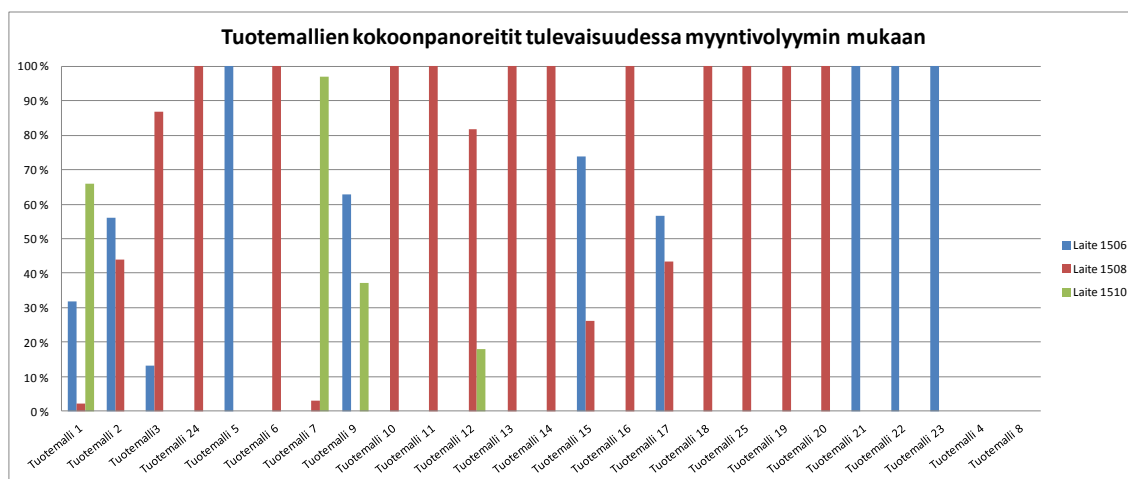


**Kuva 24.** PQ-analyysi muuttuneesta tuotemallivalikoimasta.

Huomioitavia muutoksia ovat ensimmäisen tuoteryhmän kasvu, joka oli nähtävissä tuotannossa jo analyysiä tehtäessä. Toinen muutos näkyy Tuotemallin 2 tuoteominaisuuden kasvuna. Muita muutoksia ovat uusi lähitulevaisuuteen ennustettu tuotemallimuutos, jota kuvataan grafiikassa Tuotemallina 24. Sen merkitys analyysissä on suuri, sillä se tulee ennusteiden mukaan edustamaan lähitulevaisuudessa neljänneksi suurinta tuotemalliryhmää. Tuotemalli 25 on puolestaan tuoteryhmä, josta on valmistettu hyvin alustavia protomalleja, mutta mahdollisesta myyntimäärästä tulevaisuudessa ei ole selvää käsitystä. Tämä tuoteryhmä on kuitenkin huomioitu tässä analyysissä pienellä valmistusmäärällä, joka kuvaa valmistuksen alkua. Nykytilanteesta tehtyyn PQ-analyysiin verrattuna tästä analyysistä ovat poistuneet sekä Tuotemalli 4 että 8, joista toinen aiheuttaa poikkeavan laminointilinjan käyttöä 1506-linjalla aiemmin esitettyssä Kuvassa 23.

Eräs hyvin olennainen tekijä oli kuitenkin otettava huomioon sekä PR-analyysissä että koko layout-suunnittelussa. Tuotemallin 24 varsinainen toteutuva tuoteryhmä oli epäselvä. Mallimuutoksen toteutuminen tietyssä tuoteryhmässä vaikuttaa tuoteryhmästä riippuen jommankumman keskisuurten ja suurten tuotteiden laminointilinjan, eli 1508- tai 1510-linjan toimintaan.

Mikäli uusi tuotemalli korvaa kaikki kyseisen tuotemallin vanhat versiot, se vapauttaa kapasiteettia asianosaiselta kokoonpanolinjalta uuden tuotemallin valmistukseen, mutta mikäli tuotemalli toteutuu vain osittain, on vanhoja tuotemalleja edelleen valmistettava jossain määrin. Epäselvää oli myös mallimuutoksen siirtymäaika, joka määrittää miten pitkään vanhoja malleja on valmistettava esimerkiksi varaosamarkkinoille, jolloin sekä uutta että vanhaa tuotemallia on valmistettava rinnakkain. Uuden tuoteryhmän valmistusreittiä on visioitu Kuvassa 25, jossa sen valmistus on sijoitettu ominaisuuksiensa puolesta ainoalle lisäarvo-ominaisuuksien isojen lasien laminointilaitteelle, eli 1508-linjalle.



**Kuva 25.** Tulevaisuuden PR-analyysi.

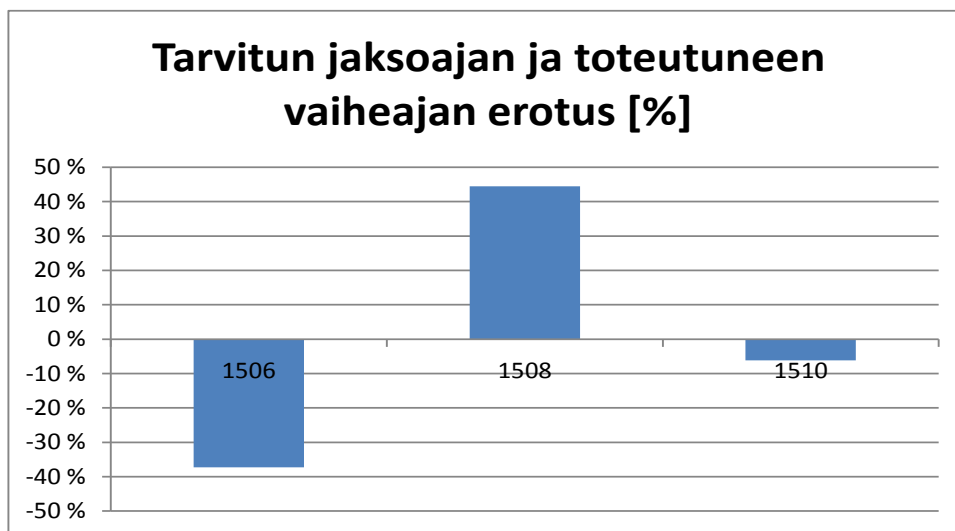
Tulevaisuuden näkymät nostavat 1508-linjan erilaisten tuotemallien määrän seitsemästätoista kahdeksaentoista ja Tuotemalli 25 sekä 24 tulisivat sataprosenttisesti valmistettavaksi kyseisellä kokoonpanolinjalla. Näiden tuotteiden valmistus 1508-linjalla edellyttää linjan kapasiteetin nostoa, huomioiden, että linjan tuotantomäärä jää jo nykyisellä tuotemallivalikoimalla alle asetetun tavoitteen.

#### 4.4.2 Arvovirtakuvaus

Nykytilanteen materiaalivirtauksien suuruutta ja etenkin virtauksen pysähdyskohtia selvitettiin arvovirtakuvauksella. Layout-suunnittelutarpeen lähtökohtana oli uusi tuotemalli ja tuotantovirran optimoiminen, joten myös tulevaisuuden näkymät nykyisillä ratkaisulla tuotiin näkyviin tulevaisuutta peilaavalla kuvauksella. Tämän tarkoituksena oli osoittaa materiaalien virtaus ja tuotantolaitteiden valmistusmääratarpeet ilman layout-muutoksia.

Kuvauksesta kävi ilmi kahden lisäarvoa valmistavan tuotantolinjan pidempi läpivirtausaika standardituotteita valmistavan tuotantolinjaan verrattuna. Tämä oli luonnollista, sillä lisäarvotuotteiden valmistusprosessi sisältää useampia työvaiheita standardituotteisiin verrattuna.

Olennainen havainto kuvauksessa oli kuitenkin, että kaikkien valmistuslinjojen tuotantomäärä oli pitkällä aikavälillä tarkasteltuna alle tavoitemäärän. Tilannetta selvitettiin analysoimalla linjojen tarvittavan jaksoajan ja toteutuneen vaiheajan keskinäistä suhdetta, jonka avulla pystyttiin tunnistamaan tarkempaa tutkimista edellyttävät laitteet. Tulokset on esitetty Kuvassa 26.



**Kuva 26.** Laminointilinjakohtaiset jakso- ja vaiheaikojen suhteet.

1506- laminointilinjan vaiheaika osoittautui olevan selvästi alle vaaditun jaksoajan, joka tarkoitti vapaata kapasiteettia. Päinvastainen tilanne oli kuitenkin 1508-laminointilinjalla, joka ei näyttänyt pääsevän vaadittuun jaksoaikaan ja siten valmistusmäärään. 1510-linja osoittautui olevan parhaiten tasapainossa, joskin sielläkin oli noin viiden prosentin ero tarvitun jaksoajan ja toteutuneen vaiheajan kesken.

Linjojen käyttöasteita tutkittaessa ilmeni, että 1510-linjan tuotantomäärään vaikutti ensisijaisesti ajoittain alentunut käyttöaste, jonka taustalla oli pääasiassa erikoisasiantuntijuutta edellyttävät tekniset vikatilanteet. Tuotannon johto ei näin ollen kokenut tarpeelliseksi tutkia tämän linjan toimintaa tarkemmin. 1506- ja 1508-linjojen toimintaa oli kuitenkin tutkittava lisää, sillä niiden ongelmat eivät olleet tarkoin selvillä. Yhtenä lähtökohtana layout-suunnittelun tarpeelle oli tarve määritellä uudelle tuotemallille valmistuspaikka. Päätös tuotemallin valmistuslaitteesta ja mahdollisen uuden laitteen sijoittelusta alueelle edellyttivät, että nykyisten laitteiden kapasiteetti oli ennen tämän päätöksen tekoa ymmärrettävä tarkemmin. Ei ollut tarkoituksenmukaista määrittää uudelle tuotemallille omaa kokoonpanolinjaa, ennen kuin varmistuttiin siitä, olisiko muilla laitteilla tarvittavaa ylimääräistä kapasiteettia.

Ensimmäisenä tutkittiin 1506-laminointilinjaa, joka käsitteli pieniä ja keskisuuria tuotteita. Menetelmänä käytettiin työvaiheiden aikatutkimusta, joka osoitti, että linjan kapasiteetti ei ollut täysin hyötykäytössä.

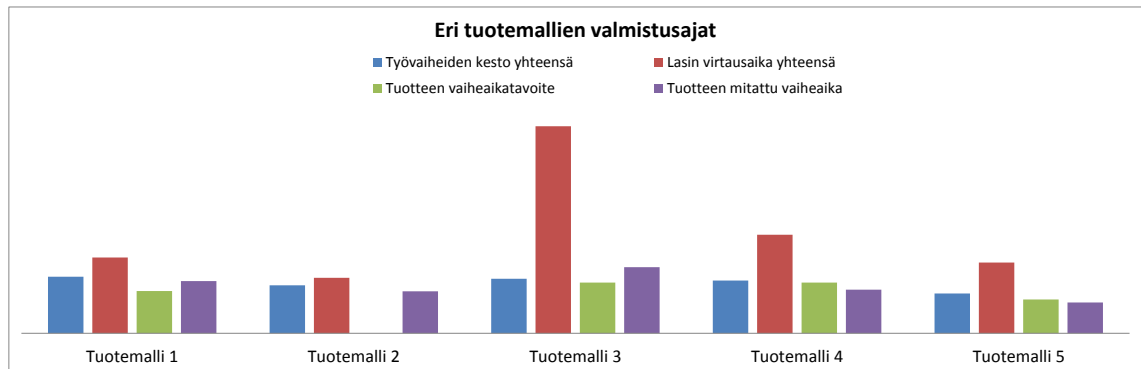


Työskentelymenetelmissä havaittiin henkilöiden ja vuorojen välisiä eroja ja linjan henkilöstömäärä vaihteli käytettävissä olevien resurssien mukaan kahdesta kolmeen. Olenainen huomio oli myös käsiteltävän tuotteen kokema odotusajan määrä, joka muodostui lyhyiden tuotantosarjojen aiheuttamasta, kesken kokoonpanotyön tehtävästä materiaalivalmistelun tarpeesta. Linjan tuotteet muodostuivat keskimäärin 10-20 kappaleen eristä ja lisäksi valmistusmäärältään suuresta tuoteperheestä, jonka eräkokoko oli 1-3 kappaletta. Suhteellisen samankaltaisen kokonsa ja ominaisuuksiensa puolesta varsinainen kokoonpanotyö linjalla oli toimivaa, mutta eräkokojen pienuudesta aiheutuva runsas asetuksentekotarve, työerien raportoinnin tarve sekä klaavausprosessia varten lasien asettelu erilliselle pukille aiheuttivat materiaalivirtaukseen katkoksia.

Näiden tutkimustulosten perusteella linjalla toteutettiin kahdeksan tunnin mittainen täystahtikoe, jossa linjan henkilöstömäärä vakioitiin ja materiaalivalmistelut tehtiin enakkoon siten, että niistä johtuva odotusaika saatiin poistettua. Koe osoitti linjan kapasiteettipotentiaalin tuotantomäärän noustessa kolmanneksen arvovirtakuvauksessa osoitettuun keskimääräiseen tulokseen nähden. Kokeen aikana tehtiin myös muita, kuin tuotteiden vaihe aikoihin liittyviä havaintoja. Linjalla huomattiin esiintyvän jonkin verran teknisiä haasteita jo aiemmin tunnistettujen ergonomiaan liittyvien tekijöiden lisäksi. Nämä tekniset haasteet vaikuttivat osaltaan linjan tuotantomäärään, sillä työntekijät muuttivat toimintatapojaan tuotteesta riippuen, kyetäkseen käsittelemään erikokoisia ja -mallisia tuotteita. Linjan työssä viihtymisen kannalta epäoptimaalinen materiaalivirtaus seuraavalle tuotanto-osastolle oli tiedostettu jo toimeksiannossa, mutta tutkimuksen aikana selvisi sen vaikutus myös tuotantomäärään. Linjan sijainti layoutissa aiheutti materiaalivirtauksien viivästymiä, kun tarvittavaa informaatiota eri prosessivaiheiden välillä ei saatu toimitettua. Materiaalien kuljetusreitti aiheutti suurentuneen riskin mahdollisille vaaratilanteille sekä edellytti työntekijöiltä toistuvaa edestakaista kävelyä.

1508-linjalla valmistusmäärät vaihtelivat ja jäivät alle asetetun tavoitteen. Linjan toimintaa tutkittiin 1506-linjaan nähden hieman erilaisesta näkökulmasta, sillä PQ-analyysi osoitti linjan useiden eri tuotemallien valmistuksen, joiden kokoonpanoprosessissa oli jonkin verran eroavaisuuksia. Keskustelu tuotantopäällikön kanssa selvensi, että eri tuotteiden vaiheajat ja niiden vaikutus tuotantomäärän vaihteluun eivät olleet selkeästi tiedossa. Oli erittäin tärkeää ymmärtää ja tunnistaa, miten suuren osan valmistusmäärän vaihtelusta erilaisten tuotteiden toisistaan poikkeavat vaiheajat selittivät.

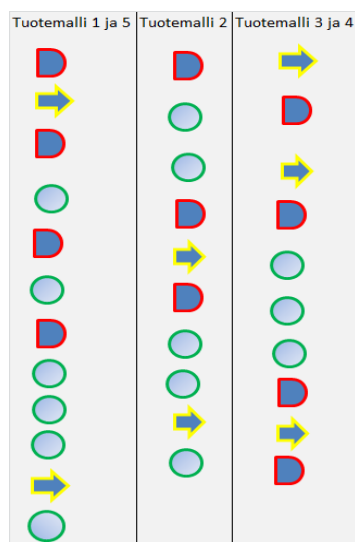
Tuotteiden valmistusta tutkittiin mittaamalla eri tuoteryhmien virtaustehokkuutta, eli valmistuksen vaiheaikoja selvitettiin tuotteen lisäarvoa tuottavien ja tuottamattomien vaiheiden näkökulmasta. Tulokset on esitetty Kuvassa 27.



**Kuva 27.** Eri tuotemallien vaiheajat 1508-kokoonpanolinjalla.

Tuotemallien yksi ja kolme toteutuneet vaiheajat ylittivät asetetun tavoitteen ja esimerkiksi tuotemallit 3, 4 ja 5 olivat virtaustehokkuudeltaan alhaiset, sillä yhden tuotteen työvaiheiden, eli lisäarvoa tuottavien toimien ja kokonaisvirtausajan suhde muodostui kohtalaiseksi tai suureksi. Tuote oli siis kokoonpanolinjalla pitkään ilman lisäjalostustoimintaa. Tulokset osoittivat, että laaja tuotemallien määrä ja niiden erilaiset vaatimukset kokoonpanoprosessille osoittautuivat merkittäväksi tekijäksi tuotantomäärätavoitteen haasteissa, sillä hitaimman tuotteen valmistusaika oli kaksinkertainen nopeimpaan malliin verrattuna. Tutkimus toi esille potentiaalin myös työskentelyn standardoimiseen etenkin erilaisten lisäarvo-ominaisuuksien valmistamisessa kalvotus- ja letkutusvaiheissa.

Odotusaikoja selkiytettiin erilaisten tuotemallien prosessikuvauksilla, joiden avulla pystyttiin osoittamaan eri tuoteominaisuuksien valmistuksen eroavaisuuksia. Kuva 28.



**Kuva 28.** Erilaisten tuotemallien prosessikuvaukset 1508- laminointilinjalla.

Prosessikuvauksessa D-kirjainta muistuttava symboli kuvaa tuotteen kokemaa odotusta prosessissa. Nuoli esittää siirtymistä prosessissa ja ympyrä tuotteen kokemaa toimintoa, eli käytännössä kyseinen vaihe on tuotteen arvon kannalta tarpeellinen.

Arvovirtakuvauksessa esitettiin myös informaatiovirrat. 1508-laminointilinjalle oli käytössä ohjaussysteemi, jossa tuotantojärjestys määräytyi ensisijaisesti lämmitettävien tuotteiden edellisen prosessivaiheen valmistumisjärjestyksestä. 1510-linjalla järjestys määräytyi järjestelijän sekä linjanhoitajan yhteistyöllä. 1506-linjan valmistusjärjestys muodostui siten, että standardituotteet laminoitiin järjestelijän määrittelemässä järjestyksessä. Lämmitettävät tuotteet laminoitiin peräkkäin siinä vaiheessa, kun langoitusprosessista valmistui langoitettuja kalvoja. Langoitetut kalvot valmistettiin pääasiassa yhdellä langoituskoneella, joka oli sijoitettu omaan tilaansa, erilleen muista langoituskoneista. Koneen sijainnista johtuen, kalvoja langoitettiin kerrallaan yhden vuoron verran tai vaihtoehtoisesti mahdollinen vuoron päättyessä kesken jäänyt sarja langoitettiin seuraavan vuoron alussa valmiiksi. Kaikki yhden vuoron aikana langoitettut kalvot pinottiin tuotantoerittäin päällekkäin yhdelle pöydälle, joka siirrettiin laminoitavaksi. Langoitetut kalvot otettiin laminoitavaksi heti kokoonpanoprosessissa kesken olevan sarjan jälkeen ja muiden tuotteiden laminointia jatkettiin langoitettujen kalvojen loputtua. Tämä toimintatapa ohjasi osaltaan laminointilinjan tuotantojärjestystä. Toiminta aiheutti materiaalivirtauksen näkökulmasta haasteeksi sen, että tuotteita ei laminoitu siinä järjestyksessä kun ne valmistuivat edelliseltä prosessivaiheelta, vaan järjestys määräytyi kalvon esikäsittelyn, eli langoituksen toimintatavasta. Myös kommunikaatiomahdollisuus langoitusoperaattorin ja kalvoja tarvitsevan laminointilinjan välillä ei ollut mahdollista niiden kaukaisen välimatkan vuoksi.

Siglasol-kalvojen leikkuuta ohjasi kerran päivän aikana tuotannonsuunnittelusta saatava siglasol-tuotteiden lista, jotka oli laitettu suunnittelusta tuotantoon. Kalvojen leikkuu määräytyi käytävissä olevan resurssin mukaan siten, että työhön erikseen osallistuneena nimetty henkilö leikkasi kalvoja työvuoronsa mukaan ja 1510-laminointilinjan kalvonleikkaaja oman työaikarajoitteidensa puitteissa. Kalvot leikattiin siten työntekijöiden muiden töiden luomien tehtävien niin salliessa. Kalvot pinottiin kalvolavalle eräkohtaisesti siten, että samalle laminointilinjalle menevät kalvot ladottiin yhdelle pöydälle. Tämä toimintatapa ohjasi puolestaan siglasol-kalvoa tarvitsevien tuotteiden kokoonpanoajankohtaa ja järjestystä. Tuotteet odottivat välivarastossa, kunnes kalvot oli leikattu. Toisinaan myös leikatut kalvot odottivat varsinaista kokoonpanoprosessia. Kalvojen ollessa pääasiassa suurikokoisia, niiden alhainen virtaustehokkuus aiheutti toistuvia kalvopöytien ja kalvorullien siirtelytarpeita muiden pöytien tai rullien tieltä pois.

Tulevia tuotemallimuutoksia ja mahdollisia menekkimuutoksia selvitettiin myyntiorganisaation haastatteluilla. Laatu- ja prosessinkehitysasiantuntijoita haastateltiin puolestaan nykyisten tuotemallien sekä uusien toteutuvien tai mahdollisesti toteutuvien tuotemallien tuotantoprosessista, sekä niiden asettamista edellytyksiä valmistusmenetelmille.

Mahdolliset muutokset PVB-kalvon esikäsittelyssä tai kokoonpanoprosessissa saattavat vaikuttaa olemassa olevaan laitekantaan, henkilöstötarpeeseen, tilankäyttöön tai tuoda tarvetta laiteinvestoinneille. Haasteeksi muodostui epävarmuus tuoteryhmästä, jota toteutuva tuotemallimuutos tulee koskemaan. Tuoteryhmästä riippuen, muutokset vaikuttavat layout-ratkaisuihin eri tavoin.

#### **4.4.3 Välipäätökset**

Ratkaiseva keskustelu tulevien layout-ehdotusten kannalta käytiin johdon kanssa siinä vaiheessa, kun PQ- ja PR-analyysit, arvovirtakuvaus sekä kokoonpanolinjojen kapasiteetti- ja vaiheaikatutkimusten tulokset olivat valmiit. Näiden tulosten valossa johdolle esitettiin, että pienten ja keskisuurten tuotteiden laminointilinja (1506) muokataan isoille laselle soveltuvaksi linjaksi. Tämä ratkaisee ongelman tulevan tuotemallin kokoonpanopaikasta. Muutos mahdollistaa lisäksi 1508-linjan tuotevalikoiman ja siten vaiheajojen tasoittamisen. Sellaiset tuotteet, joiden vaiheaika on suurin, voidaan siirtää uudelle kokoonpanolinjalle. Lisätuna on layout-ehdotukseen toivottu joustavuus, jolloin uusi kokoonpanolinja voi toimia 1508- ja 1510-linjojen varalaitteena. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi suuren tuotantomäärän tasoittaminen tai teknisen häiriön tilanteissa tarvittu varakapasiteetti. 1506-linjan jo aiemmin mainitut ergonomiset ja tuotantomäärään vaikuttavat tekniset haasteet edellyttävät väistämättä linjan muokkaamista, joten muutos myös isoja tuotteita käsitteleväksi linjaksi on mahdollista huomioida samalla kertaa. Muita ratkaisuvaihtoehtoja uuden tuotemallin kokoonpanolle on sijoittaa niiden valmistus olemassa oleville linjoille tai rakentaa kokonaan uusi kokoonpanolaitteisto olemassa olevien lisäksi. Edellä mainittu ratkaisu lisää tuotantomäärän vaihtelua ja jälkimmäinen vaihtoehto edellyttää kokonaan uuden tilan tarvetta ja toisaalta laitteiston kapasiteettia pystytään hyödyntämään vain osittain.

Keskustelussa päädyttiin muokkaamaan 1506-linjasta ergonomiaparannusten lisäksi sekä pieniä että isoja lasia käsittelevä laitteisto, jonka suunnittelutyöstä tulee erillinen projektinsa. Samalla johdon edustajat toivat esille ajatuksen siirtää pienet, manuaalisesti käsiteltävät tuotteet valmistettavaksi uuteen perustettavaan tuotantosoluun. Näiden tuotteiden valmistusmäärät puolsivat linjaprosessia, mutta niiden lyhyet sarjat ja siitä aiheutuvat materiaalivehityksen katkokset eivät tehneet linjaprosessista tuottavaa.

#### **4.4.4 Materiaalivirrat**

Nykytilanteen materiaalivehityksiä tutkittiin osaston työntekijöiden jäsentelemättömillä haastatteluilla sekä yhdistämällä tehdasjärjestelmän tietoja tuotteista, niiden materiaali-tarpeista ja valmistusreiteistä. Pääasialliset virtaukset muodostuivat tuotteen kahdesta pääkomponentista, lasista ja kalvosta, mutta alueella esiintyi jonkin verran myös muiden komponenttien tai tarvikkeiden sekä hävikkimateriaalin käsittelyä.

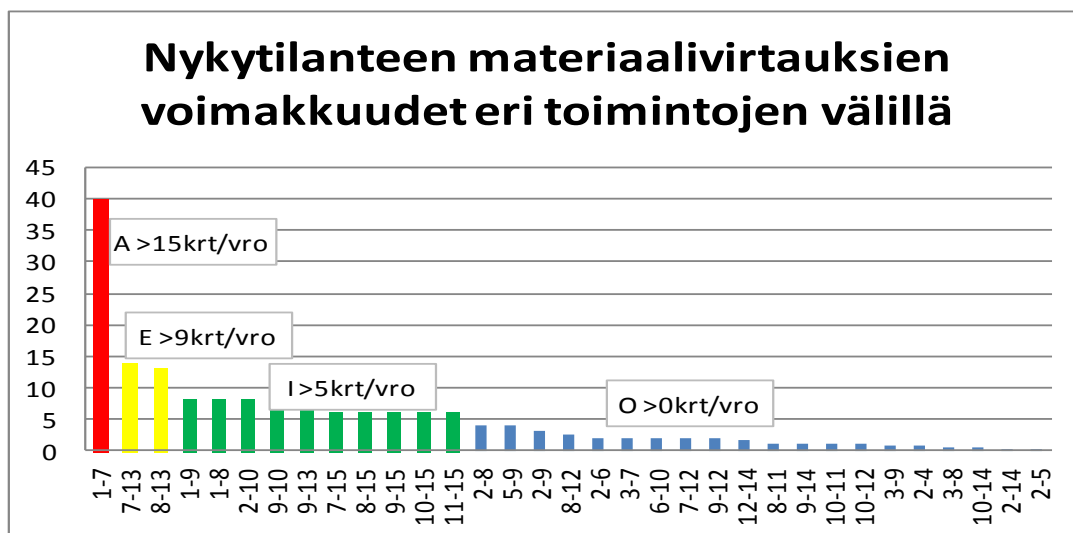
Materiaalivirtojen voimakkuuksien kuvauksessa käytettiin mistä-mihin - kaaviota, mutta itse layoutin suunnittelutyössä huomioitiin voimakkuuksien lisäksi materiaalin siirtelymenetelmät ja -välineet sekä kuljetusreitit ja niiden toimivuudet työntekijöiden näkökulmasta. Materiaalivirtojen suuruus määriteltiin sen mukaan, montako kertaa yhden kahdeksan tunnin työvuoron aikana kahden toimintoalueen välillä esiintyi edestakaista liikennettä. Saadut luvut jaettiin kirjaimien kesken Taulukossa 4 esitetyn mukaisesti.

**Taulukko 4.** *Materiaalivirtausten voimakkuuksien kirjainmerkitykset.*

Materiaalivirtauksen voimakkuus	Kirjaintunnus
> 15 kertaa työvuorossa	A
> 9 kertaa työvuorossa	E
> 5 kertaa työvuorossa	I
> 0 kertaa työvuorossa	O

Numeroiden ja kirjaimien keskinäiset suhteet ovat analyysin tekijän itse päätettävissä ja tästä analyysistä jätettiin analyysin viimeinen kirjainvaihtoehto U käyttämättä, jotta data ei muodostunut eri kirjaimien välillä liian suppeaksi.

Kuvassa 29 esitetään eri toimintoalueiden keskinäiset materiaalivirtausten voimakkuudet nykytilanteessa.

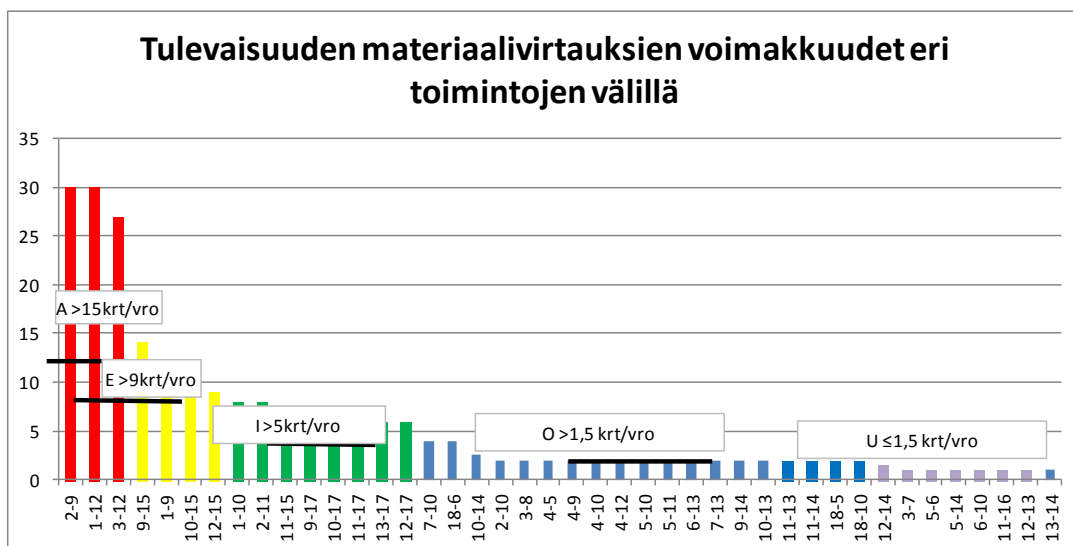


**Kuva 29.** *Materiaalivirtausten voimakkuudet eri toimintojen välillä nykytilanteessa.*

Viisi suurinta materiaalivirtausta esiintyi eri kokoonpanolinjojen ja niitä edeltävän prosessivaiheen tai niitä seuraavan prosessivaiheen välillä. Numero 1 kuvaa taivuttamon ja kohdeosaston välistä keskeneräisen tuotannon varastoa. Numero 13 esittää kohdeosastoa seuraavaa prosessivaihetta. Suurin materiaalivirtaus esiintyi taivutusosaston ja kohdeosaston väliseltä varastointialueelta 1510-laminointilinjalle. Seuraavaksi merkittävimmät virtaukset esiintyivät saman laminointilinjan ja sitä seuraavan klaavausvaiheen välisestä liikenteestä.

Kolmanneksi suurin virtaus esiintyi 1506-laminointilinjan ja osastoa seuraavan prosessivaiheen välillä. Neljäntenä ja viidentenä olivat 1508-laminointilinjan ja 1506-linjan sekä edeltävän prosessivaiheen välivaraston välinen liikenne. Kuudenneksi suurin virtaus esiintyi kalvovaraston ja langoitusosaston kesken, joka muodostui leveydeltään alle 160 cm rullien kuljetuksesta varastolta langoitukseen ja takaisin. Materiaalireittien selitykset löytyvät liitteestä 3.

Myös johdon kanssa käydyssä välikatsauksessa tehtyjen päätösten vaikutukset virtaus-ten voimakkuuksiin kuvattiin mistä-mihin - kaaviolla. Esimerkiksi keskustelussa tehty päätös manuaalisesti käsiteltävien tuotteiden valmistussolun perustamisesta sekä laminointilinjan 1506 muuttamisesta isoille lasille soveltuvaksi linjaksi oli huomioitava usealla eri tavalla. Haasteena oli, että solussa valmistettavat tuotteet, niiden määrät ja niihin laminoitava PVB-kalvo ja mahdolliset lisäarvo-ominaisuudet eivät olleet vielä täysin selvillä. Solussa käsiteltävien tuotteiden virtaus edeltävältä tuotanto-osastolta soluun, tuotteiden tarvitseman PVB-kalvon esikäsittelyn sijainti suhteessa valmistus-oluun sekä laminoitujen tuotteiden virtaus edelleen seuraavalle tuotanto-osastolle oli visioitava, jonka pohjalta saatiin luotua lähitulevaisuuden materiaalivirtausten näkymät Kuvassa 30 esitetyn mukaisesti. Nykytilannetta kuvattaessa tunnistettiin 15 eri toimintoaluetta ja tulevaisuuden arvioinnissa käytettiin 18:tä toimintoaluetta.

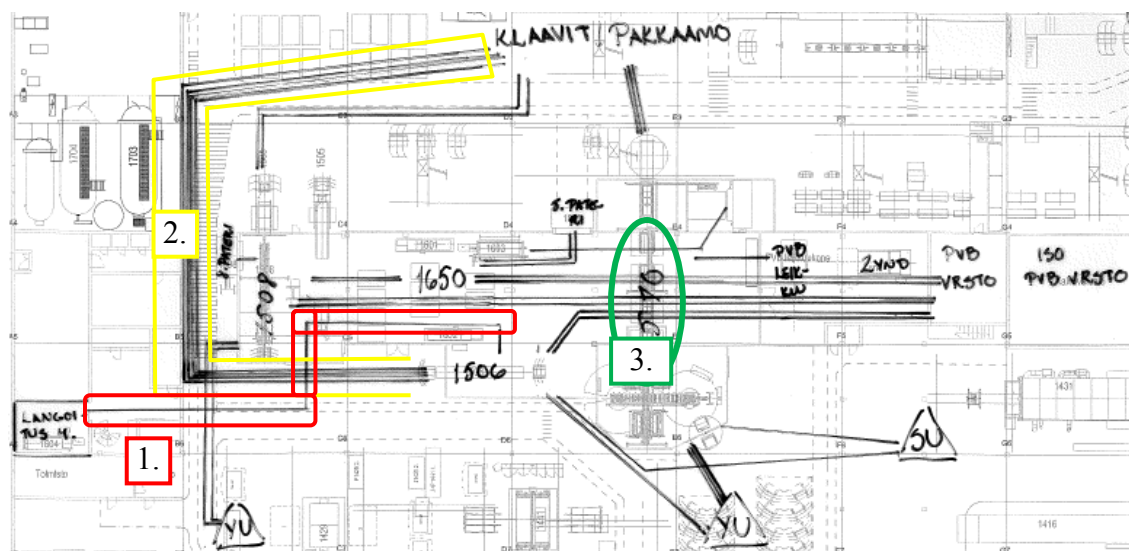


**Kuva 30.** Tulevaisuuden materiaalivirtausten voimakkuudet.

Suurin materiaalivirtausten voimakkuus muodostui edelleen taivutusosaston sekä laminointilinjan 1510 kesken, mutta myös taivuttamon ja uuden tuotantosolun välille. Tässä kuvauksessa taivuttamosta tuleva virtaus on eroteltu kahden eri välivaraston kesken siten, että suurimpien lasien taivutusalue, eli niin sanottu kammiolasitaivutus ja keskisuurten sekä pienien lasien taivutusalue, eli sarjauunitaivutus on eroteltu erillisiksi alueiksi. Tämä johtuu siitä, että sarjauunitaivutuksen alue on tulevaa tuotantosolua palveleva osasto. Voimakas edestakainen materiaalivirtaus uuden solun ja edeltävän prosessivaiheen välillä oli layout-päätöksissä olennainen näkökohta.

Myös kolmanneksi suurimman PVB-varaston ja kalvoleikkuukoneen välisen materiaa-  
livedin virtauksen taustalla on uusi solu, jossa valmistettavien tuotteiden pienet sarjakoot edel-  
lyttävät ennakkoon tehtävää kalvovalmistelua ja toistuvaa kalvorullien siirtelytarvetta  
leikkuukoneen lähelle. Keltaisen, eli 10-15 kertaa työvuoron aikana tapahtuva virtaus  
liittyy edelleen 1510-linjaan ja soluun, mutta tässä kohdassa osastoa seuraavan proses-  
sivaiheen suuntaan. Materiaalireittien selitykset löytyvät liitteestä 3. Olennaisimmat  
muutokset tuloksissa liittyvät uuteen perustettavaan valmistussoluun ja tekniseltä raken-  
teeltaan muutettavaan 1506-laminointilinjaan sekä tuotemallien muutosten tuomaan  
PVB-kalvojen esikäsittelypisteisiin. Tulevaisuuden kuvauksessa hyödynnettiin myös U-  
kirjainta, joka kuvasi 1,5 kertaa tai harvemmin vuoron aikana tapahtuvaa materiaa-  
livedin virtausta.

Mistä-mihin - kaavio antaa visuaalisen kuvan eri reittien materiaa-  
livedin virtauksen voimak-  
kuudesta, mutta layout-suunnittelussa on olennaista kuitenkin myös materiaalien kulje-  
tusreitit ja -menetelmät. Nykyisiä kuljetusreittejä kuvattiin Kuvassa 31 esitetyllä vir-  
tausdiagrammilla, josta ilmeni nykyiset materiaa-  
livedin virtauksen voimakkuudet siten, että  
materiaalireitin viivojen määrällä esitetään virtauksen voimakkuus.



**Kuva 31.** Nykyiset materiaalireitit layout-pohjalle kuvattuna virtausdiagrammina.

Viivojen määrä vaihtelee 1-4, jossa neljä viivaa vastaa voimakkuudeltaan A-kirjainta, 3 viivaa E-kirjainta ja niin edelleen. Diagrammilla pystytään myös osoittamaan materiaa-  
lien kuljetusreitit. Kun tarkastelussa huomioitiin virtausvoimakkuuksien ja käytettävien  
reitien lisäksi kuljetusmenetelmät, nousi esille ensisijaisesti kolme ongelmakohtaa.

1. Langoitettujen kalvojen virtaus 4. langoituskoneelta 1506-laminointilinjalle ja leikattujen kalvojen kuljetusreitti linjan suunnalta takaisin langoituskoneelle, oli etenkin tuotelaadun ja tuotannonohjauksen näkökannalta epäoptimaalinen. Kalvojen kuljettaminen tehdastilassa, pois puhtaasta tilasta toi riskin kalvojen likaantumisen ja langoituskoneen sijainti aiheutti laminointilinjant tuotantojärjes-  
tykselle osaoptimointia, jota kuvattiin kappaleessa 4.4.2.

2. Toinen erityinen ongelmakohta oli 1506-laminointilinjan seuraavalle prosessivaiheelle suuntautuvan liikenteen monimutkaisuus, joka todettiin jo toimeksiannossa. Materiaalireitti aiheutti vaaranpaikkoja, kun haarukkavaunuliikenne kohosi jalankulkuliikenteen kanssa. Pitkä välimatka aiheutti myös viivästymää laminointiprosessin tarvikelogistiikalle. Kohde oli materiaalivirtauksien puolesta voimakas, joten jo toimeksiannossa tiedostettu ongelma osoittautui myös tutkimusten valossa todelliseksi.
3. Kolmanneksi ongelmakohdaksi havaittiin käyttöönotettujen kalvorullien kuljetusreitti varastolta langoitusosaston ja myös 1506-laminointilinjan tarpeisiin. Kalvorullat kuljetettiin edestakaisena liikenteenä 1510-laminointilinjan läpi useita kertoja yhden työvuoron aikana. Siten kuljetustarpeella oli vaikutusta sekä materiaalin kuljetuksen että laminointilinjan toimintaan.

#### 4.4.5 Suhdekaavio

Suhdekaaviota hyödynnettiin tunnistamaan osaston sisäiset ja ulkoiset toimintoalueet, jotka olivat jollain tavalla riippuvaisia toistensa toiminnasta. Tällä tarkoitetaan toimintoja, joissa toinen toimintoalue esimerkiksi esivalmistelee materiaalia toisen toimintoalueen käyttöön. Toimintoalueiden keskinäisissä riippuvuuksissa määrääväksi tekijäksi osoittautuivat materiaalivirrat eri toimintojen välillä, sillä kaikki keskinäiset toiminnot liittyvät materiaalin esivalmisteluun ja siirtelyyn. Suhdekaavion avulla pystyttiin tunnistamaan toistensa palveluita hyödyntävät ja tarvitsevat alueet, joka huomioitiin layout-suunnittelussa siten, että mitä enemmän toiminnot olivat riippuvaisia toisistaan, sitä enemmän painoarvoa annettiin niiden keskenään läheiselle sijainnille ja materiaalivirtauksen sujuvuudelle.

Lähitulevaisuuden tuotemalli- ja valmistuslaitteiden muutokset vaikuttavat materiaalivirtoihin ja siten myös toimintojen välisiin suhteisiin. Suhdekaavio laadittiin materiaalivirtausten pohjalta, jolloin siinä käytettiin tunnuksia A, E, I, O ja U materiaali- ja henkilövirtauksien kuvaamisessa vastaavalla tavalla. A-kirjain kuvasi toimintoja, jotka olivat toistensa kanssa vuorovaikutuksessa käytännössä jatkuvasti, U-kirjaimen tarkoittaessa, että toimintojen keskinäistä riippuvuutta ei ollut, eikä toimintojen keskinäistä läheisyyttä näin ollen ollut tarpeen painottaa layout-suunnittelussa. Läheisyys-suhteiden tärkeys on kuvattu liitteessä 4 kirjaimin ja niiden alle on kuvattu läheisyys-tarpeen tärkeyden selitykset numerokoodein. Erilaisina kriteereinä käytettiin valmistuslaitteisiin liittyviä päätöksiä sekä lähitulevaisuuden tuotemalli- sekä tuotemenekkimuutoksia.

#### 4.4.6 Tila-analyysi

Tilan sekä sinne sijoitettavien laitteiden ja tarvikkeiden mittauksia toteutettiin etenkin tuotannon lomapäivinä tai taukoajoilla tuotantotyöskentelyn häiritsemisen minimoimiseksi.



Työntekijöiden kanssa keskusteltiin kuitenkin tarvittavista työskentelytilan alueista, jotta saatiin ymmärrystä, millaisen tilan työskentely vaati ja toisaalta, että vältetään turhan lisätilan suunnittelulta, joka pidentää toimintojen välisiä välimatkoja. Kaikissa laitteiden mittauksissa huomioitiin niiden ympärille tarvittava muiden tarvikkeiden, materiaalien tai työskentelytilan tarve. Ahtaaksi koettuihin työskentelyalueisiin pyrittiin mittauksissa huomioimaan lisätilan mahdollisuutta. Tällaisia alueita esiintyi esimerkiksi 4. langoituskoneella ja 1506-laminointilinjalla, joissa työntekijät kokivat tilan ahtauden vuoksi tarvetta siirrellä tarvikkeita edestakaisin, jotta työskentely olisi mahdollista. Myös esimerkiksi langoitusprosessissa käytettävien tarvikkeiden hyllykkö oli jäänyt pieneksi kasvaneen tuotemallimäärän ja sitä kautta suurentuneen tarvikemäärän vuoksi, joten hyllykön kokoa kasvatettiin mittausvaiheessa.

Tila-analyysissa kartoitettiin myös laitteiden uudelleensijoittamisessa huomioitavia näkökohtia laitteen näkökannalta. Esimerkiksi langoituskoneiden uudelleensijoittelussa oli huomioitavaa, että koneita ei voinut turvallisuussyistä sijoittaa lattia-alueen keskialueelle, vaan koneet oli sijoitettava seinien vierustoille. Käytettävissä olevan tilan mittauksissa löydettiin myös poikkeamat olemassa olevaan layout-kuvaan. Etenkin tukipalkkien sijainneissa oli poikkeavuuksia käytännön ja piirustusten kesken.

Mittausten jälkeen laadittiin alustavia layout-suunnitelmia, jotta saatiin ymmärrystä miten laitteita ylipäättään olisi järkevää ja mahdollista sijoittaa. Näiden alustavien suunnitelmien pohjalta voitiin tehdä tilan rakenteita koskevaa selvitystä. Alustavat suunnitelmat katselmoitiin paikan päällä yhdessä tehtaan kunnossapito-osaston esimiehen kanssa. Hän antoi arvioitaan erilaisten seinäelementtien purku- rakennus- tai siirtotöiden toteutettavuudesta. Joidenkin rakenteiden katselmoinnissa konsultoitin ulkopuolista rakennusmestaria sekä katselmoitiin tilan rakennuspiirustuksia, jotta saatiin tietoa seinien ja katon tukirakenteista.

Yksi layout-ehdotuksissa esiintyvä muutos oli käyttöönotettujen kalvojen määramittaan leikkaamiseen liittyvä muutos. Rullien edestakaista siirtelyä eliminoimaan luotiin ratkaisu, jossa kalvovaraston seinään tehdään kapea aukko, jonka läpi kalvo voidaan pujottaa rullasta suoraan aukon toisella puolella olevalle leikkuukoneelle. Aukon tekemisen mahdollisuutta selvitettiin konsultoimalla paloviranomaista, sillä seinä rajasi palokatko-alueita. Kaikissa layout-ehdotuksissa oli laadittu toisistaan hieman poikkeavia laajennusosia ja sekä laajennusosasta että laitteiden uudelleensijoittelun johdosta paloviranomaista konsultoitin myös tarvittavien hätäpoistumiskäyntien sijainnista ja määrästä.

#### **4.4.7 Layout-ehdotusten arviointi**

Johdolle annettiin lopulta yhdeksän asetettua tavoitetta täyttävää layout-ehdotusta, joissa selkeimmät eroavaisuudet vaihtoehtojen välillä olivat 1508-paterin hyödyntämisessä ja 1505- sekä 1508-patereiden ja langoituskoneiden absoluuttisessa sijoittelussa tilassa.

Arvioinnissa hylättiin ne ratkaisut, jotka eivät hyödyntäneet 1508-pateria nykyistä paremmin, eli vaihtoehdot, jossa sen sijainti oli ennallaan. Näiden ratkaisujen ei koettu tukevan layout-suunnittelussa tavoiteltua optimaalista materiaalivirtaa ja laitteiden hyötykäyttöä. Myös ne vaihtoehdot hylättiin, jotka koettiin tilaratkaisuiltaan aiheuttavan ahaita, suljettuja alueita, joissa materiaalin siirtely alueelle ja alueelta pois tapahtuu samaa reittiä pitkin. Tämä luo tarpeen edestakaiselle virtaukselle, jolloin kulkuaukko voi yhtäaikaan erisuuntaisen virtauksen vuoksi käydä ahtaaksi, tehden työskentelystä hankalaa. Muutenkin kaikki ne vaihtoehdot suljettiin pois, joissa materiaali joutuu layout-ratkaisusta johtuen edestakais-suuntaiseen virtaukseen. Edestakainen siirtely ei muutoinkaan tue Lean-periaatteen mukaista toimintaa.

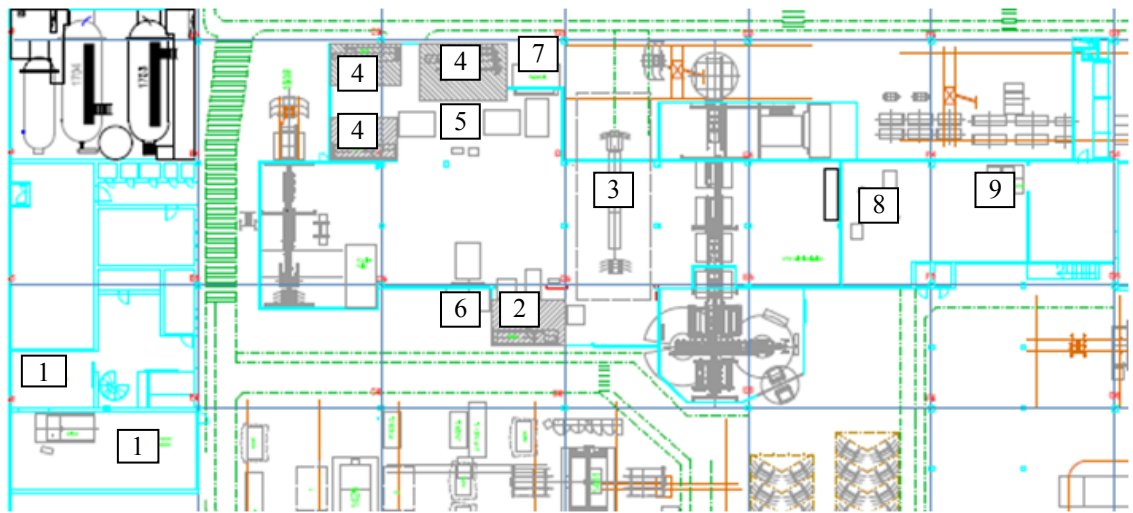
Johdon kanssa käytiin yhteensä kuusi arviointikierrrosta, jossa kierros kerrallaan vaihtoehtoja hylättiin vertailemalla niitä toisiinsa etenkin työskentelyyn jäävän tilan ja materiaalivirtausten näkökulmista. Keskusteluissa nousi esille myös kaksi kokonaan uutta vaihtoehtoa, jotka puhtaaksi piirtämisen jälkeen käsiteltiin muiden vaihtoehtojen tavoin. Arviointikeskusteluissa pohdittiin etenkin työskentelyn sujuvuutta, materiaalivirtoja sekä turvallisuuskäsitteitä, joiden arvioinnissa konsultoitii työsuojelupäällikköä ja työsuojeluvälittäjää. Lopuksi vaihtoehdot karsiutuivat kolmeen vaihtoehtoon, jotka esiteltiin ja annettiin työntekijöiden arvioitavaksi. Vaihtoehdot esiteltiin henkilöstölle kertomalla heille ensin yhteisesti vuoroittain suunnitteluprosessin vaiheista, tiedon keruun menetelmistä ja saaduista tuloksista sekä erilaisista tiedonkeruun aikana saaduista näkökulmista sekä tehdyistä päätöksistä. Tämän jälkeen jokaiseen työpisteeseen vietiin näkyville kaikki kolme layout-vaihtoehtoa ja ne esiteltiin työryhmäkohtaisesti yksitellen jokaiselle vuorolle. Esittelyn yhteydessä operaattoreilla oli mahdollisuus myös lisäkysymyksiin ja kommentointiin. Jokaisen työvuoron jokaista työryhmää pyydettiin keskustelemaan ryhmän kesken heille valintaan vaikuttavista tärkeistä tekijöistä, listaamaan ne ylös ja valitsemaan kolmesta vaihtoehdosta heille tärkeistä näkökulmista katsottuna paras vaihtoehto. Työntekijöille haluttiin tällä tavoin tarjota vapaat mahdollisuudet tarkastella vaihtoehtoja juuri heidän työskentelynsä kannalta oleellisista näkökulmista. Työryhmien eri vuoroilta saatiin tulokseksi lista kriteereistä, jotka olivat vaikuttaneet päätöksentekoon sekä vaihtoehtojen paremmuusjärjestys. Työntekijöitä pyydettiin lopuksi kertomaan arvionsa parhaaksi valitsemastaan vaihtoehdosta nykyiseen layout-malliin verrattuna. Tällä haluttiin varmistua, että työntekijät eivät kokeneet uutta, parhaaksi valittua vaihtoehtoa nykyiseen ratkaisuun nähden huonompana.

## 4.5 Uuden layoutin esittely

Käytettävissä olevan tilan fyysiset mitat ja malli, sekä nykyisillä paikoillaan pidettävät laitteet vaikuttivat vahvimmin muiden laitteiden ja toimintojen absoluuttiseen sijoittamiseen tilassa. Tietty toiminnot edellyttävät tilalta tiettyä korkeutta ja juuri korkeus rajasi merkittävimmin ensimmäiseksi pohditun 1506-laminointilinjan absoluuttista sijoituspaikkaa.

Tilan malli edeltävään ja seuraavaan prosessivaiheeseen nähden vaikutti puolestaan siihen, miten päin ja mihin kohtaan 1506-laminointilinja sekä uusi valmistussolu tulee sijoittaa, jotta materiaalivirrat edeltävältä ja seuraavan prosessivaiheiden kesken muodostuvat toimiviksi. PVB-paterivarastojen korkeus määritteli niiden absoluuttisen sijainnin tilan reuna-alueille, kuten myös niiden lastauksen ja tyhjennystyön edellyttämän tilan tarve. Jo aiemmin mainittu langoituskoneiden sijoitustarve seinustoille, toi omat rajoitteensa tilankäytön suhteen. Viimeisenä pohdittiin langoituskoneiden ja kalvon esivalmistelulaitteistojen sekä niiden palveluja käyttävien laminointilinjojen keskinäistä sijoittelua.

Suunnitteluvaiheessa laadituista yhdeksästä johdolle esitetystä layout-vaihtoehdoista valittiin parhaaksi Kuvassa 32 esitetty layout, josta teetettiin kustannusarvio.



**Kuva 32.** Parhaaksi valittu layout-vaihtoehto.

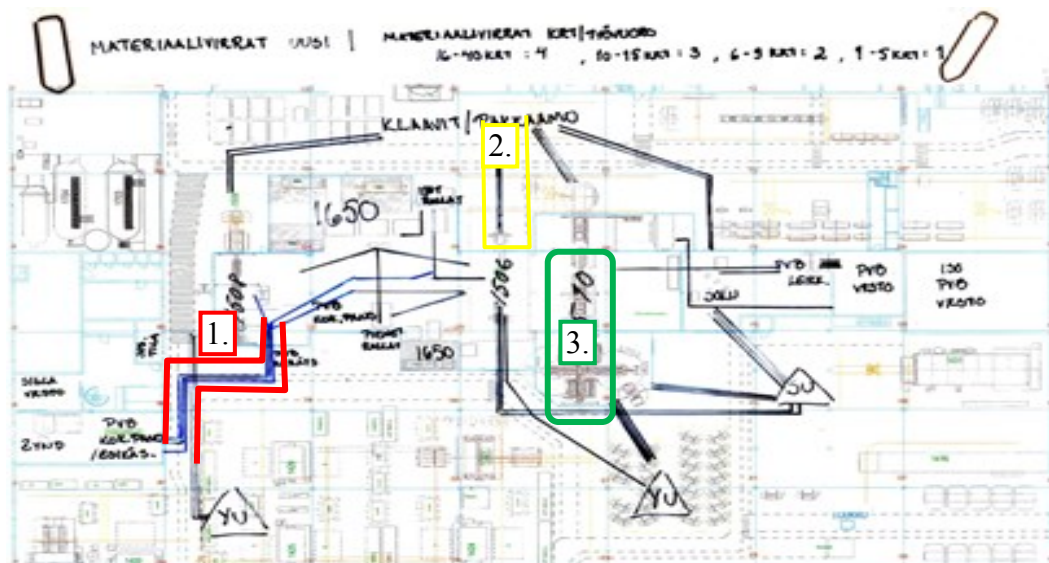
Parhaaksi valitussa vaihtoehdossa kyettiin löytämään ratkaisuja kaikkiin lähtötilanteen ongelmiin. Uusi layout sisältää puhdastilan laajennusosan sekä eri tuotantolaitteiden ja PVB-patereiden uudelleensijoittelua. Muutokset nykyiseen layout-ratkaisuun nähden on listattu seuraavassa:

1. siglasol-kalvon leikkuukone sijoitetaan toimistojen tilalle ja pakkauksesta avattuja siglasol-kalvorullia varten on määritelty 4.langoituskoneen vanhalle paikalle varasto. Uuden tuotemallin kalvojen esikäsittely voidaan tehdä siglasol-leikkuukoneen tilassa, jossa on riittävästi tilaa kalvojen käsittelylle.
2. muista langoituskoneista erillään ollut 4. langoituskone siirretään samaan tilaan muiden langoituskoneiden ja laminointilinjojen kanssa.
3. 1506-linja käännetään muiden laminointilinjojen kanssa samansuuntaiseksi ja sijoitetaan uudelle paikalleen.
4. langoituskoneet uudelleen sijoitetaan tilaan nähden.
5. puhdastilaa laajennetaan.
6. 1508-pateri uudelleen sijoitetaan langoitusrumpujen ja laminointilinjojen suhteen keskeisemmälle paikalle. Paterin viereen muodostuu tilaa kalvojen esikäsittelylle esimerkiksi uutta tuotemallia ajatellen.

7. 1505-pateri uudelleen sijoitetaan.
8. manuaalisesti yksittäin käsiteltäviä tuotteita varten on määritelty valmistussolun paikka.
9. kalvoleikkuukonetta siirretään nykyisessä tilassaan hieman eri paikkaan. Tämä tekee mahdolliseksi syöttää leikattavat kalvot kalvovaraston ja leikkuukoneen väliseen seinään tehtävän aukon läpi suoraan varaston puolelta leikkuukoneelle, ilman rullan pitkiä siirtelytarpeita.

Laminointilinjojen määrä pysyy kolmessa, mutta niiden lisäksi kaikkein pienimmille, manuaalisesti käsiteltäville tuotteille perustetaan valmistussolu tehtaalla tällä hetkellä käyttämättöminä olevia käsittelylaitteistoja hyödyntäen. Solussa pystytään joustavasti lisäämään tai vähentämään lasinkäsittelypisteitä ja niiden keskinäistä paikkaa tuotetypistä ja sarjakoosta riippuen. 1508-kalvopaterin uudelleensijoittamisella saavutetaan mahdollisuus tuoda suuri osa kalvorullatelineillä säilytettävistä kalvorullista pateriin. Tämä mahdollistaa sen, että käytännössä kaikki 1506-laminointilinjan tai langoitusosaston tarvitsemat alle 160cm levyiset kalvot löytyvät läheltä työpistettä, eikä rullia tarvitse kuljettaa varastolta edestakaisin useasti työvuorossa 1510-laminointilinjan läpi.

Uuden layoutin materiaalivirtoja pystyttiin kehittämään niin reittien kuin menetelmienkin näkökohdista tarkasteltuna. Kuvassa 33 esitetään toimintojen väliset materiaalivirtausten voimakkuudet ja suunnat. Kuvasta voidaan nähdä, että merkittävimmät onnistumiset näkyvät 1506-laminointilinjan materiaalivirroissa seuraavan prosessivaiheen suuntaan sekä käyttöön otettujen PVB-kalvorullien liikenteen loppumisen varastolta 1510-laminointilinjan läpi langoituksen alueelle. Alla on kerrottu tarkemmin merkittävimpien ongelmakohtien ratkaisuksista.



**Kuva 33.** Materiaalivirtojen näkymä parhaaksi valitulla layout-pohjalla virtausdiagrammina.

1. Aiemmin 4. langoituskoneelta tapahtunut materiaaliliikenne 1506-laminointilinjalle kyetään koneen uuden sijoittelupaikan myötä poistamaan, mutta siglasol-leikkuukoneen sijoittelun vuoksi alueelta on edelleen materiaali-virtausta varsinaisen puhdastilan puolelle. Liikenne on kuitenkin vähäisempää ja se ei tule vaikuttamaan tuotannonohjaukseen.
2. 1506-laminointilinjan seuraavalle prosessivaiheelle suuntautuva liikenne pystytään linjan uudella sijoittelulla tuomaan lähemmäs seuraavaa prosessivaihetta. Materiaalin virtausreitti on myös turvallisempi sekä edesauttaa informaation vaihtoa ja siten työn sujuvuutta.
3. Kolmas ongelma-alue, jossa avattuja kalvorullia kuljetettiin 1510-laminointilinjan läpi, kyetään eliminoidaan 1508-paterin hyödyntämisen ja tuotantosolun sijoituspaikan ansiosta.

#### 4.5.1 Muut ongelmanratkaisuehdotukset

Uuden layout-ratkaisun lisäksi toimeksiannon ongelmat edellyttävät muita toimia. Uusi layout ratkaisee etenkin materiaali- ja informaatiovirtauksiin liittyviä haasteita, mutta 1508-linjan tuotantomäärän tasapainottaminen edellyttää myös muita toimia. Kyseisen linjan laaja tuotemallien määrää pystytään tasapainottamaan kokoonpanolinjojen välillä tehtävien tuotesiirtojen avulla, jota uusi layout-ratkaisu tukee, kun 1506-linja on saatu muokattua isoille tuotteille soveltuvaksi. Aiemmin Kuvassa 27 esitetyt tuotemallit 3 ja 4, eli paljon lisäarvo-ominaisuuksia sisältävät tuotteet voidaan siirtää uudelleenrakennettavalle 1506-laminointilinjalle. Näiden tuotemallien sisältämien tuotteiden vuosivolyymi on kuitenkin vain keskimäärin yhden prosentin luokkaa koko 1508-laminointilinjan valmistuksesta, joten myös muita toimenpiteitä on tarpeen tehdä. Linjalta voidaan siirtää lisäksi Kuvassa 27 numerolla 2 nimetyn tuotemallin tuotteita 1510-laminointilinjalle. Tämän tuotemallin tuotteiden ainoa lisäarvo-ominaisuus on lämmitettävä tai siglasol-kalvo, joiden kokoonpano onnistuu yhtälailla 1510-kokoonpanolinjalla. Riippuen siirrettävien tuotemallien ja tuotteiden määrästä, näiden osuus 1508-laminointilinjan vuosivalmistuksesta on 25-30 prosenttia. Tuotesiirroissa on kuitenkin huomioitava etenkin siglasol-kalvon leikkaamiseen tarvittavan koneen sijoituspaikka. Mikäli siglasol-kalvollisia tuotteita siirretään pois 1508-linjalta, on järkevää tehdä arviointi siglasol-leikkuukoneen sijainnista.

Kalvopatereiden ja kalvoleikkuukoneen täysi hyötykäyttö tuo tarvetta omalle henkilöresurssilleen. Tavoitteena on kasvattaa tuotanto-osaston materiaalivirtausta, joten niin lasin kuin kalvonkin on virrattava osaston läpi mahdollisimman vähillä välivarastoinnin tarpeilla. Koska tuotteiden käsittely yksittäisinä kappaleina edellyttää koko valmistus-systeemin muuttamista, voidaan kalvojen esivalmistelulla kuitenkin edesauttaa tuotantoerittäin käsiteltävien lasien virtaustehokkuutta laminointilinjojen läpi. Tällöin tarvittavat kalvot tulee leikata ja pinota eräkohtaisesti ennakoon laminointilinjojen käyttöön. Jotta kalvojen välivaraston suuruus saadaan pidettyä kohtuullisena, on kalvoja leikattava kaikissa työvuoroissa erikseen. Tehtyjen laskemien mukaan työvuoron aikana leikat-tavien PVB-kalvojen menekki riittää työllistämään yhden täysipäiväisen työntekijän. Kalvoleikkaaja tekee mahdolliseksi sen, että langoitus- ja laminointiprosessit voivat keskittyä niiden ydintehtäviin materiaalivalmistelujen sijasta.

Kalvonleikkuuresurssia puoltaa myös esimerkiksi 1506-linjan työtutkimuksessa esille tullut materiaalivalmistelujen vaikutus tuotantomäärään.

Uudistettava 1506-linja on oma suunnittelu- ja rakennusprojektinsa. Ergonomisia haasteita ja sujuvaa työskentelyä häiritsevät tekniset ratkaisut on tunnistettu, mutta laitteen suunnittelussa on huomioitava myös laitteelle mahdollisesti siirtyvät tuotemallit, niiden koot ja ominaisuudet. Laaja tuotemallien määrä edellyttää joustavaa ja monipuolista laitekokonaisuutta, joka tukee kappaleen virtausta läpi prosessin ja eliminoi työntekijöiltä vaadittavat edestakaiset kävelymatkat ja toiminnot. Tuotemallien monipuoliset lisäarvo-ominaisuudet tuovat lisätarpeita myös tehokkaan ilmanvaihdon ja laatuvaatimuksien vuoksi oikeanlaisen valaistuksen suhteen. Laitekokonaisuudelle on varattu uudessa layoutissa nykyisiä isoja tuotteita käsittelevien laminointilinjojen tarvitsema tilan määrä.

#### 4.5.2 Layout-päätösten taustat

Uudella layout-ratkaisulla kyettiin löytämään ratkaisuja kaikkiin toimeksiannossa kuvattuihin haasteisiin ja kehittämään alueen toimintaa myös muulta osin. Layout-ratkaisuisa huomioitiin laajasti sekä kvantitatiivisen että kvalitatiivinen tutkimusaineiston tuloksia ja erilaisiin ratkaisuihin päädyttiin seuraavin perusteluin ja näkökannoin:

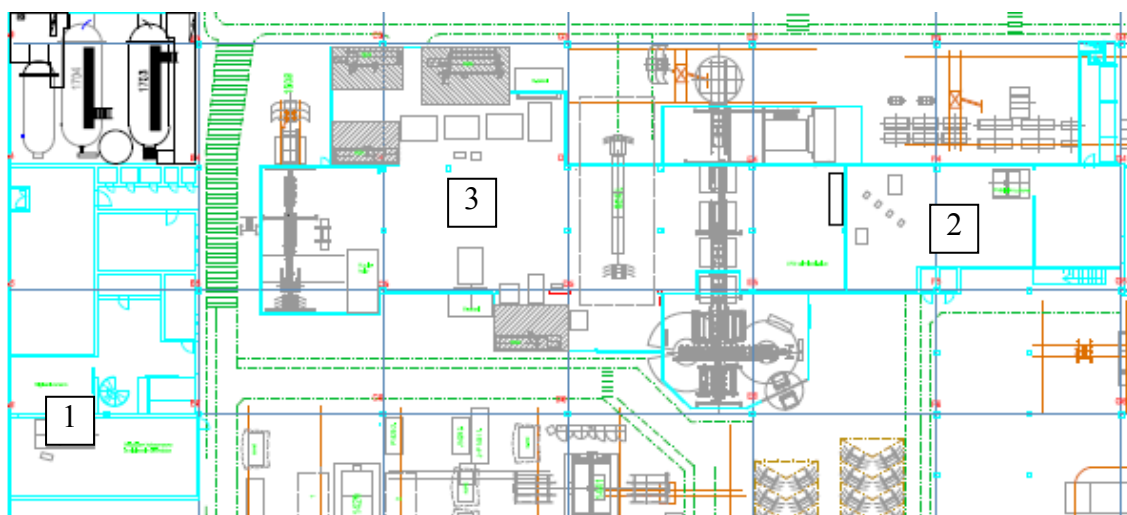
- kalvorullatelineitä siirreltiin yhden työvuoron aikana useita kertoja edestakaisin kalvovarastolta langoitukseen tai laminointilinjoille ja takaisin. Rullat oli kuljettava osaston layout-ratkaisujen vuoksi 1510-laminointilinjan läpi. Useita kertoja yhden työvuoron aikana toistuva edestakainen kuljetustarve koettiin järjestelijöiden näkökulmasta erittäin epämiellyttäväksi ja turhauttavaksi itse telineen teknisen mallin ja siirtelytarpeen toistuvuuden vuoksi. Samaa rullaa saatettiin tarvita yhden työvuoron aikana useamman kerran. Näiden seurauksena rullia jäi useiksi tunneiksi käytön jälkeen odottamaan varastolle siirtoa, jolloin osa kalvoista saattoi pilaantua.
- muista laminointilinjoista poikkeavan suuntaisesti sijoitettu laminointilinja 1506, oli paitsi ergonomisesti, myös teknisesti osittain epäsovelia sillä käsiteltävien tuotteiden valmistamiseen.
- laminointilinjalla 1506 laminoitavien lämmitettävien tuotteiden kalvot prosoidaan muista langoituskoneista erilleen sijoitetulla koneella. Sijainti on aikanaan määräytynyt käytettävissä olevien tilojen puitteissa. Kone on erillään muusta laminointi- ja langoitusosaston toiminnoista, jolloin informaatio- sekä materiaalivirrat eivät toimi optimaalisesti. Koneen sijoittelu luo myös tarpeen kuljettaa tilassa langoitettavat ja langoitetut kalvot yleisen tehdastila-alueen läpi, joka luo kalvojen likaantumisriskin.
- Kooltaan pienet tuotteet, joiden erä koko on yhdestä kolmeen kappaletta, on tuotavampaa valmistaa kokoonpanolinjan sijaan tuotantosolussa
- Toimeksiannossa reunaehtoina määriteltiin laminointilinjojen 1508 ja 1510 ja PVB-varastojen sijainnit nykyisellään. Uudelleensijoittelulle vapaana olevien laitteiden sijoitteluun vaikutti luonnollisesti paitsi niiden tarvitsema tila, myös etenkin niiden suhde muihin toimintoihin nähden. Näin ollen kalvojen esikäsitteilylaitteet päätettiin sijoittaa Kuvan 32 mukaisille paikoilleen.

- Tutkimusten kautta kävi selväksi, että 1508-kalvopateri ei ollut juurikaan hyötykäytössä. Siellä varastoitiin vain muutamia kalvorullia, joiden käyttö oli niin pientä, että ne ehtivät vanheta paterissa. Tämä ja työntekijöiden turhautuminen käytännössä jatkuvaan PVB-rullatelineiden siirtelyyn varaston ja langoituksen tai laminointilinjojen välillä, toivat ajatuksen sijoittaa kalvopateri paikkaan, jossa sen kapasiteettia voidaan paremmin hyödyntää. 1508-paterin käytettävyyttä muualla selvitettiin työntekijöiden ja dokumentoidun datan yhdistelmänä, jossa selvitettiin millaisia kalvorullia paterissa nykyisellään oli, mihin tuotteisiin niitä käytettiin, mikä tuotteiden valmistusmäärä oli sekä pohdittiin, mikä on näiden kalvojen vaihtoehtoinen varastointipaikka ja käytettävyys 1508-linjalla, mikäli pateria hyödynnetään muualla. Tutkimustyössä selvitettiin mahdollisuutta myös pienempään, mahdollisesti konsernin sisältä saatavaan kalvopateriin, mutta sellaista ei ollut saatavilla.
- Laminointilinjan 1506 uudelleensijoittamisessa merkittävin rajoite oli käytettävissä olevan tilan ominaisuudet. Laminointilinjojen ja langoitusosaston kalvotarpeet kalvovarastolta ja kalvoleikkuukoneilta sekä langoitusosaston edellyttämän yhtenäisen tilan tarve, rajasivat vaihtoehtoiset sijoituspaikat minimiin.
- Langoitusprosessille ominaista on, että prosessoitavat kalvot ovat kooltaan suuria, siten melko painavia ja työntekijät siirtelevät kalvoja pöydiltä langoituskoneelle ja takaisin pareittain. Kalvoja on nostettava siirtelyssä myös melko ylös, usein kädet ylhäällä jotta kalvo ei likaannu. Itse koneen suorittaman langoitusvaiheen aikana operaattorit pystyvät suorittamaan tahoillaan eri työvaiheita prosessin edistämiseksi. Siirtely kuormittaa etenkin olkapäitä ja tästä syystä kalvopöytien ja langoituskoneiden keskinäisiä välimatkoja ei voida uudessa layoutratkaisussa tilalaajennuksesta huolimatta nykyisestään kasvattaa. Kahden työntekijän tarve sulkee pois mahdollisuuden, että langoituskoneita voi tuottavasti sijoittaa laminointilinjojen lähelle siten, että laminointilinja ja langoituskone muodostavat yhdessä valmistussolun. Prosessin työvaiheita varten tarvitaan kolme isoa kalvopöytää, jolloin tällaisen tilan järjestäminen erikseen jokaiselle neljälle – tai edes osalle langoituskoneita käytettävissä olevasta tilasta, on ongelmallista. Myös kalvologiikka langoitusrummuille muuttuu hankalaksi.
- Koneiden ja laitteiden sijoittelussa huomioitiin myös prosessien keskinäiset suhteet. Kalvoleikkuukoneet palvelevat laminointilinjojen ja langoituksen kalvotarpeita ja siksi tutkimukset eri linjojen tuotemalleista ja valmistusmääristä oli tarpeellinen. Siglasol-leikkuukoneen sijainti selkiytyi tutkittaessa siglasolkalvollisten tuotteiden valmistusmääriä laminointilinoittain. Leikkuukoneen sijoituksessa haasteellista oli kuitenkin epävarmuus lähitulevaisuuden uusista tuotemallimuutoksista: mitkä tuotemallimenekkiennusteista toteutuvat, minkälaisina myyntimäärinä ja poistuuko osa tällä hetkellä valmistuksessa olevista siglasol-kalvoa käyttävistä tuotteista, kuten ennusteet osoittavat.
- Uusi lisäys kokonaisuuteen oli manuaalitoimintainen laminointisolu. Solun sijoittelussa oli huomioitava etenkin laminoitavien lasien, määramittaan leikattujen PVB-kalvojen sekä valmiiden, laminoitujen tuotteiden logistiikka valmistusoluuun ja sieltä eteenpäin. Laminointisolun sijoitus laminointi- ja langoitusosaston toiseen päähän määräytyi laminoitavien lasien taivutusuuin ja kalvorullavaraston sijainnin perusteella.

### 4.5.3 Layout-ehdotuksen edellyttämät muutostyöt

Kustannusarviota varten parhaaksi valitun layout-ehdotuksen edellyttämät muutokset katselmoitiin yhdessä tehtaan teknisen osaston päällikön ja rakennusalan alihankkijan kanssa tuotantotilassa. Tarvittavat muutostyöt jaettiin kolmeen kokonaisuuteen niiden edellyttämien muutostöiden vaativuuden ja toteutusjärjestyksen mukaan.

Ensimmäisen kokonaisuuden muodostaa Kuvaan 34 merkitty alue 1, jossa erikseen sijoitettu langoituskone ja toimistotilat sijaitsevat. Toisen kokonaisuuden muodostaa kalvovoleikkuun ja tuotantosolun sijoitusalue ja kolmantena kokonaisuutena käsiteltiin tilan keskialueen muutoksia.



**Kuva 34.** Uuden layoutin muutostyön aluekokonaisuudet

Alihankintana suoritettaviksi töiksi listattiin kattoon, lattioihin tai seiniin liittyvät tehtävät. Tällaisia töitä ovat esimerkiksi nostinratojen purku, lattioiden timanttisahaus, tassaaminen ja pinnoittaminen, tilan laajennusosan rakentaminen, seinien purkutyöt sekä niistä aiheutuvat ilmanpaineen, sähkö- ja vesiverkostokaapelointien tai putkistojen siirtäminen. Näiden työvaiheiden edellyttämää kokonaisaikaa pyrittiin myös alihankkijan kanssa arvioimaan, jotta saatiin ymmärrys töiden vaatimasta ajasta.

Tehtaan oman teknisen organisaation toimesta nähtiin mahdolliseksi toteuttaa laitesiirot. Suurimmat haasteet muodostuvat kalvopatereiden siirtämisestä. Etenkin 1508-paterin edellyttämät ilmanvaihtokanavien muutostyöt, paterin korkeus nykyiseen ja uuteen sijoituspaikkaan nähden tekee itse siirtämisestä vaativan. Siirrettävällä matkalla tehtaan katon korkeus vaihtelee ja paterin mahtuminen kaikilta osin kattorakenteiden alta on selvittettävä tarkemmin. Langoituskoneiden siirtäminen on kohtalaisen yksinkertaista.



## 5. YHTEENVETO

### 5.1 Päätulokset

Tässä diplomityössä pyrittiin löytämään kohdealueelle eri resurssinäkökulmasta toteutettavissa oleva, lähitulevaisuuden layout-ratkaisu Lean-periaattein. Ratkaisun tuli vastata yrityksen tuotemallien ja niiden valmistusmäärämuutosten tuomiin liiketoiminnallisiin haasteisiin. Tuotantomäärävaihtelun tekijöitä haluttiin ymmärtää paremmin, jolloin sitä voitaisiin tarvittavien jatkotoimenpitein avulla vähentää ja turvata osaston valmistuskapasiteetti nyt ja tulevaisuudessa, ilman toistuvia erikoisjärjestelytarpeita. Kolmantena tärkeänä layout-suunnittelun lähtökohtana oli materiaalivirtojen ja työssä viihtymiseen liittyvien tekijöiden kehittäminen.

Layout-suunnittelu edellyttää prosessissa käsiteltävien tuotteiden, niiden tulevaisuuden näkymien, itse prosessin sekä siihen sidoksissa olevien materiaalien, laitteiden, tukitoimintojen ja informaation ymmärtämistä sekä nykyisen tilan, sen käytön ja fyysisten ominaisuuksien tunnistamista. Tutkimustyö toteutettiin analyyttistä ongelmanratkaisumallia mukaillen, jossa esiselvitystyön tarkoituksena oli ymmärtää suunnittelukohteessa vaikuttavia tapahtumia ja ilmiöitä sekä tiedostaa ongelmien taustalla vaikuttavia juurisyytä. Kvalitatiivista ja kvantitatiivista tutkimusaineistoa kerättiin tapaustutkimukselle tyypillisillä menetelmillä, eli keräämällä kvantitatiivista tietoa yrityksen tietojärjestelmästä ja kvalitatiivista tietoa puolijäsennellyillä haastatteluilla sekä todellisessa kenttäympäristössä tehdyillä havainnoilla. Tiedon käsittelyssä, analysoinnissa ja esittämisessä hyödynnettiin erilaisia Lean-periaatteen- ja layout-suunnittelun menetelmiä. Arvovirtakuvauksella, PQ- ja PR-analyyseillä esitettiin prosessiin ja tuotteisiin liittyviä tietoja. Materiaalivirtoja ja toimintojen keskinäisiä suhteita kuvattiin erilaisin kaavioin ja diagrammein. Tutkimusaineiston kerääminen ja analysointi olivat ajallisesti varsinaista suunnittelutyötä pidempiä vaiheita, mutta monipuolinen tiedonkeruu ja analysointi osoittautuivat varsinaisessa suunnittelutyössä erittäin tärkeäksi.

Erilaisia, lopulliseen johdon arviointiin annettavia ehdotuksia laadittiin yhdeksän, joita arvioitiin materiaalivirtausten sekä prosessin toiminnan kannalta suunnittelun kohteena olleen osaston esimiehen, tuotantopäällikön, tehdaspäällikön sekä teknisen osaston esimiehen kanssa. Ehdotuksia arvioitiin kuudella kierroksella ja vaihtoehdot karsiutuivat pois siten, että osaston työntekijöille annettiin arvioitavaksi lopulta kolme vaihtoehtoa. Parhaaksi valitusta ratkaisusta teetettiin arviot sekä tehtaan oman organisaation että alihankintana teetetävien töiden kustannuksista.

Työssä on pystytty löytämään ratkaisuja asetettuun ongelmaan uuden tuotemallin edellyttämästä valmistusresurssista ja tuotantomäärän tasoittamisesta sekä parantamaan tavoitteena ollutta materiaalivirtausten sujuvuutta sekä osaston sisäisen että seuraavaan tuotantoprosessiin tapahtuvan materiaaliliikenteen näkökulmista.

Työn toteutuksessa on hyödynnetty sekä layout-suunnittelun että Leanin periaatteita. Suunnittelun kohteena olevan tilan prosesseja ja niihin liittyviä oheistoimintoja sekä niistä aiheutuvia ihmisten, materiaalien ja informaation virtoja on tutkittu eri menetelmillä, kuten hyvän layout-suunnittelun edellytyksenä on. Lean-periaatteesta on olen-naista ymmärtää itse filosofia, eikä vain yksittäiset menetelmät ja työkalut. Perehtyminen Toyotan valmistussysteemiin, sen historiaan sekä systeemiajatteluun auttoivat ymmärtämään millaisista tekijöistä Leaniksi nimetty toimintatapa muodostuu ja miten sitä voi ja tulee huomioida layoutiin liittyvissä ratkaisuissa ja päätöksissä.

Työn käytännön tason rajoitteita olivat tuotannon tuotemallivalikoiman muuttumisen epävarmuustekijät sekä osittain lomakauden ja suunnittelutyön päällekkäisyys. Tarkkaa tietoa, mitkä tuotemuutokset todellisuudessa toteutuvat, mitä tuoteryhmiä ne koskevat ja mikä muodostuu valmistusmäärätarpeeksi, ei tässä vaiheessa ollut. Layout-ratkaisut ovat puolestaan osittain riippuvaisia näistä tiedoista. Erilaiset tuotemallit edellyttävät erilaisia kalvoja ja erilaiset kalvot edellyttävät erilaisia esikäsittelyvaiheita ja siten erilaisia laitteita ja tiloja. Eri laitteet käyttävät materiaalivarastojen palveluita, joka on huomioitava esikäsittelylaitteen sijoittelussa. Toteutuva kokoonpanolinja puolestaan määrittää esivalmistelulaitteen sijoittelun laminointilinjaan nähden. Yhden tekijän muuttuminen aiheuttaa näin ollen tarvetta myös muiden laitteiden uudelleensijoittelulle. Varsinaisen suunnittelutyön ajoittuessa tehtaan lomakaudelle, esiintyi tilanteita, joissa ajatuksenvaihto johdon edustajien tai kohdeosaston työntekijöiden kanssa olisi ollut hyödyllistä.

Lopputuloksena saatiin layout-ehdotus, jossa pystyttiin monipuolisesti huomioimaan ja kunnioittamaan layout-suunnittelun tavoitteita sekä Lean-periaatteita. Tapaustutkimus ja siinä tyypillisesti käytettävät erilaiset tutkimusmenetelmät ovat toimivia toimintamalleja layout-suunnittelutyössä. Etenkin prosessin tapahtumapaikalla tehtävät havainnot ja keskustelut ovat hyödyllisiä ja välttämättömiä. Tutkimusaineiston kerääminen edellyttää useita kentällä tapahtuvia katselmuksia, sillä tutkija ei huomaa yhdellä kerralla kaikkea. Tilasta ja toiminnoista löytyy kerta toisensa jälkeen uusia havaintoja ja tietoja. Myös Lean-periaatteiden huomioiminen layoutiin liittyvissä ratkaisuissa on toimiva menetelmä. Sekä varsinaiselle layout-suunnittelulle määriteltyjä tavoitteita että Lean-periaatteita tutkiessa voidaan havaita, että päämäärät ovat molemmissa yhteneväiset. Tavoite on viimekädessä minimoida kustannuksia, jota optimaalinen virtaus tukee. Optimaalinen virtaus edellyttää puolestaan eri resurssien oikeanlaista sijoittelua sekä toimintaa.

## 5.2 Työn tieteellinen arviointi

Tutkimustyön rajoitteet kohdistuvat etenkin käytettyyn tutkimusmenetelmään, tutkimuskohteeseen, saatuihin tutkimustuloksiin ja tutkijan resursseihin, joista voidaan edelleen tunnistaa menetelmien ja tulosten pätevyyteen sekä luotettavuuteen liittyvät rajoitteet.

Tutkimuksen pätevyydellä, eli validiteetilla tarkoitetaan tutkimusmenetelmän ja siinä käytettyjen mittaus- ja tiedonkeruumenetelmien sopivuutta tutkimaan niitä tapahtumia ja ilmiöitä, joita on tarkoitus tutkia. Tutkimuksen luotettavuus, eli reliabiliteetti osoittaa käytettyjen mittaus- ja tiedonkeruumenetelmien toistettavuuden, eli miten sattumanvaraisia tulokset ovat. (Hiltunen 2009)

**Tutkimusmenetelmä ja - tulokset:** Tapaustutkimuksessa tärkeää on teoreettisen tarkastelukehityksen sekä sen perustana käytettävän aineiston valinta ja rajaus. Rajoitteiksi voivat muodostua teoreettisen kehityksen jäsentäminen toimivaksi kokonaisuudeksi tutkimuskohdetta ajatellen, aineiston kerääminen ja analysoiminen sekä myös aineiston keräämisen lopettaminen, jotka vaikuttavat sekä validiteettiin että reliabiliteettiin. (Aaltio-Marjosola 1999) Tutkimuksen luotettavuutta voidaan arvioida kerätyn tiedon kautta analysoimalla esimerkiksi, tukevatko eri menetelmillä saadut tulokset toisiaan (Voss 2002).

Tutkimuksen pätevyyttä ja luotettavuutta varmistettiin erilaisilla, toisiaan täydentävillä ja tukevilla tiedonkeruumenetelmillä. Aineistoa kerättiin dokumentoiduista tiedoista, kyselyin ja haastatteluin sekä tutkijan tutkimuskohteessa tekemien havaintojen avulla. Vossin (2002) mukaan haastattelussa vastaajat ovat kuitenkin alttiita subjektiivisuudelle ja ennakkoasenteille, jolloin tällä tavoin saatu tietoa ei tule käyttää ainoana tiedonlähteenä. Sen sijaan haastattelemalla useita ihmisiä samasta aiheesta, tiedon luotettavuutta voidaan parantaa. Haastateltavat päätetään joko haastattelemalla asiasta riittävästi tietäviä avainhenkilöitä tai vaihtoehtoisesti jos käsiteltävä asia on niin monipuolinen, ettei organisaatiosta voida valita vain tiettyjä henkilöitä vastaamaan, on käytettävä laajempaa otantaa. (Voss 2002) Luotettavuutta parannettiin valitsemalla haastateltavia henkilöitä satunnaisesti siten, että haastateltavia oli jokaisesta työvuorosta, työryhmästä sekä eri työtehtävistä. Haastattelumenetelmässä rajoitteina ovat kuitenkin aina esimerkiksi haastatteluolosuhteet sekä haastattelijan että haastateltavan mieliala (Hiltunen 2009). Tutkimuksen haastattelut toteutettiin työntekijöiden työskentely-ympäristössä, jossa keskustelu oli työntekijöille luontevaa ja tiedonkeruu nopeampaa. Toisaalta ympäristö loi omat haasteensa työntekijän työvelvoitteiden puolesta sekä siitä aiheutuvien mahdollisten keskittymisvaikeuksien tai kiireen tuntuna. Haastattelumenetelmän luotettavuuden stabiilisuus, eli luotettavuus ajan kuluessa arvioituna (Hiltunen, 2009) voi olla ongelmallinen. Uutena ajankohtana toteutettu haastattelu, jossa tilanne, ympäristö tai kysymysten asettelu poikkeavat ensimmäisestä haastattelusta, saattaa tuottaa erilaisia tuloksia.

Tapaustutkimuksen yleispätevyyttä arvostellaan esimerkiksi sellaisiin tutkimusmenetelmiin verrattuna, joissa tutkimusaineistoa analysoidaan tyypillisesti tilastollisilla menetelmillä. Toisaalta hyvin yleisellä tasolla sovellettava sisältö voi myös jäädä pinnalliseksi, jolloin sen laatu heikkenee. (Aaltio-Marjosola 1999)

**Tutkimuskohde:** Tämä tutkimus kattaa vain yhden, tarkoin määritellyn kohteen ja saadut tulokset sekä kehitysehdotukset koskevat siten vain nimenomaista kohdetta, jolloin tulosten ja ratkaisuehdotusten yleispätevyys heikkenee. Tulosten soveltamisessa yleisemmin on huomioitava myös layout-suunnittelun kohteena oleva tila ja sen muokausmahdollisuudet. Käytettävissä oleva tila luo viimekädessä raamit toteutettavalle layoutille ja suunnittelu on myös vahvasti riippuvainen tavoitteista, jotka voivat lähtökohdista riippuen vaihdella. Tämän työn lähtökohtana olivat etenkin liiketoiminnalliset ja työssä viihtymisen tekijät, mutta layout-suunnittelun tarve voi muodostua myös esimerkiksi toistuvista vaaranpaikoista.

**Tutkijan ominaisuudet ja resurssit:** Voss esittää (2002) tutkijaan liittyvinä haasteina tutkijan henkilökohtaiset näkemykset, kokemukset ja mielenkiinnon kohteet, jotka voivat muokata sitä, mitä tutkija näkee, kuulee tai dokumentoi tutkittavasta kohteesta (Voss 2002). Aaltio-Marjosola tunnistaa tutkijan rajoitteiksi esimerkiksi tutkijan aseman itse tutkimusprosessissa, tutkimuskohteen liitännäisyyden tutkijan aiemaan teorialuntemukseen sekä saadun tiedon analysoinnin taidot, jotka kaikki yhdessä luovat pohjan tapaustutkimuksen onnistumiselle (Aaltio-Marjosola 1999). Mikäli tutkimusaineiston keräämisessä käytetään haastattelumenetelmää, nousevat esiin myös tutkijan haastattelutilanteisiin liittyvät taidot. Tutkijasta voi haastattelutilanteessa tulla yrityksen edustaja tarkkailijan roolin sijaan. Tämä voidaan torjua käyttämällä useita haastattelijoita, jolloin saatua tuloksia voidaan verrata keskenään (Voss 2002).

Tutkijalla on usean vuoden eri työtehtävistä muodostunut kokemus tutkimuskohteena olevasta organisaatiosta, sen prosesseista ja tuotteista. Olemassa oleva tietopohja edesauttoi ja nopeutti etenkin uusien tuotemallin prosessien, sekä kohteen erilaisten toimintojen haasteiden ja vaatimusten ymmärtämistä. Myös organisaatiossa käytettävä terminologian tuttuus joudutti tutkimustyön tekoa. Aiempi kokemus ja tiedot edesauttoivat kerätyn tiedon analysoinnissa ja tulkinnassa, mutta saattoivat myös tiedostamatta vaikuttaa niihin. Aiempi kokemus teki prosessien ja toimintojen tarkastelusta uusin näkökulmin haasteellista, mutta teoreettinen katsaus edesauttoi kuitenkin esimerkiksi prosessien tutkimisessa virtaustehokkuuden näkökulmasta, joka oli tutkijalle uusi tarkastelukulma. Suurin osa organisaation työntekijöistä oli tutkijalle entuudestaan tuttuja, joka teki haastattelutilanteista mutkattomia ja rentoja. Tutkijan aiemmat haastattelukokemukset ovat hyvin suppeat, joka saattoi vaikuttaa esimerkiksi kysymysten asetteluun.

### 5.3 Jatkokehitysehdotukset

Tutkimustyössä nousi esille seitsemän jatkokehityskohdetta, jotka esitetään seuraavassa.

**1506-linjan tuotepäätökset.** Ennen kuin 1506-linjan rakennetta voidaan muuttaa, on oltava selvää millaisia tuotteita sillä on tarkoitus käsitellä. Luomalla edellytykset keskisuurten ja isojen lasien käsittelylle, laitteelle voidaan tehdä tuotesiirtoja 1508-linjalta ja sitä pystytään käyttämään varalinjana sekä 1508-että 1510-linjoille. Linjan teknisen ratkaisun aiheuttamia työskentelyergonomian ja tuotteiden käsittelyn haasteita on kartoitettu tutkimusvaiheessa ja niistä on listattu parannusehdotukset.

**Valmistussolun toiminta.** Tuotantosolun suunnittelussa on huomioitava solun käyttöaste, tuotannonohjaus, henkilöstöresursointi sekä työmenetelmien standardisointi ja kehittäminen. Toyota ei omassa valmistusfilosofiassaan suosi soluja, jotka ovat eristyksissä muusta tuotannosta, sillä siellä koetaan haasteeksi niiden taipumus eristäytyä muusta tuotannosta. Yksi olennainen ajatusmalli Lean-periaatteessa on työntekijöiden keskinäinen kommunikointi, vuorovaikutus ja ongelmanratkaisu. Muista toiminnoista eristyksissä oleva solu jää herkästi myös työnjohdon kontrollin ulkopuolelle ja näistä kaikista voi seurauksena olla heikosti ohjattu ja standardisoitu työpiste, jonka toimintaa ei hyödynnetä tehokkaasti. Nämä riskit on hyödyllistä tunnistaa ja huomioida solun toimintamallia suunniteltaessa.

**Laminointilinjojen tuottavuustarkastelu.** Tässä työssä tarkemmin tutkittu 1506-linja edellyttää sekä työtapojen että henkilöstömäärän standardisoimista, jotta eri menetelmistä ja henkilöresursseista aiheutuvaa tuotantomäärän ja mahdollista tuotelaatuvaihtelua tai niiden riskiä voidaan vähentää. 1508-linjan tutkimus puolestaan osoitti, että linjan hitain työvaihe antaa mahdollisuuden arvioida linjan viimeisen työvaiheen työntekijämäärää. Henkilömäärämuutoksen mahdollisesti aiheuttama vaiheajan kohtuullinen pidentyminen ei vaikuta linjan kokonaisvaiheikaan. Lean-periaate on valmistaa sama tuotantomäärä pienemmällä henkilömäärällä, ei saada samalla henkilömäärällä enemmän tuotteita.

**Kalvon esikäsittelyresurssi.** Uusi layout tuo organisaatiossa jo suunnitelmissa ollutta tarvetta kokopäiväiselle kalvojen esikäsittelijälle, joka huolehtii sekä kalvojen leikkuun että esikäsittelyn kokoonpanolinjojen käytettäväksi. Vuoroittain tarvittava valmiiksi leikattujen kalvojen tarve edellyttää ja toisaalta myös riittää yhteen, jokaisessa vuorossa työskentelevään resurssiin.

**Siglasol-leikkuukoneen kehittäminen.** Riippuen uuden tuotemallin toteutuvasta valmistusmäärästä, mallimuutoksen edellyttämän siglasol-kalvon leikkuukoneen kehitysmahdollisuutta voidaan arvioida. Tuotemallin valmistusprosessi on osittain epäselvä, mutta tehokkain ja Lean-periaatetta kunnioittava virtaava tapa on yhdistää kalvojen määrämittaan leikkuu sekä kalvoon tarvittavien aukkojen leikkuu yhdeksi käsittelyvaiheeksi. Tällöin aukkojen koossa on huomioitava kalvon mahdollinen elpymisvara, mikäli kalvoja ei pystytä välittömästi leikkuun jälkeen jatkojalostamaan. Tutkimustyön aikana laitteen kunnossapitoyritykseltä kysyttiin mahdollisuutta pätkimis- ja aukkojen leikkuuprosessien yhdistämiseksi, kuten myös valmiiksi määrämittänsä leikattujen kalvojen syöttöön laitteelle joko laitteen alku- tai loppupäästä. Huoltoyrityksen näkemyksen mukaan mahdollisuus oli vain koneen sivulta toteutettavalle kalvosyötölle. Toisen arvion pyytäminen muualta saattaa kuitenkin olla hyödyllistä. Esimerkiksi laitteessa olevan maton kulkusuunnan vaihtaminen tarvittaessa vastakkaiseen suuntaan, saattaa ohjelmamuutoksella olla mahdollista.

**Langoituskoneiden turvaratkaisut.** Mahdollisia uusia, tulevia layout-muutoksia varten, langoituskoneiden sijoitteluun saadaan monipuolisuutta kehittämällä niitä siten, että ne voidaan sijoittaa käytettävän tilan keskialueelle. Nykyisellään koneiden taustapuoli aiheuttaa turvallisuusriskin, joka estetään sijoittamalla kone seinän viereen. Koneita voidaan kuitenkin käyttää molemmin puolin, jos niiden taustapuolelle asennetaan turvaraja, joka estää vaaratilanteet koneen ollessa lattian keskialueella. Lisäksi taustapuolelle tarvitaan langoituspää ja koneen pyöritysohjaimet, jolloin koneen kaksipuolinen käyttö antaa mahdollisuuden materiaalivirtausten kehittämiseen. Muutoksen avulla langoitettujen kalvojen pöytiä ei välttämättä tarvitse siirrellä langoituksen ja laminoinnin välillä, vaan pöytä voi olla kiinteässä paikassa.

**Prosessitarkastelut.** Tutkimuskohteen prosesseja on vielä mahdollista kehittää, tarkastelemalla niitä virtaustehokkuuden näkökulmasta. Tämä voi tuoda mahdollisuuden työn kehittämiseen työssä viihtymisen ja työn tuottavuuden näkökulmista.

## 6. LÄHTEET

A3 Problem-Solving: Fight the Root Cause, verkkosivu Saatavissa (viitattu 21.1.2018): <https://kanbanize.com/lean-management/improvement/a3-problem-solving/>.

Aaltio-Marjosola, I. (1999). Casetutkimus metodisena lähestymistapana, verkkosivu Saatavissa (viitattu 30.8.2017): <https://metodix.fi/2014/05/19/aaltio-marjosola-casetutkimus/>..

Baudin, M. (2002). Lean Assembly. The nuts and bolts of making assembly operation flow. Productivity Press. New York. 273p.

Byrne, A. ( 2013). The Lean Turnaround. How Business Leaders Use Lean Principles to Create Value and Transform Their Company. McGraw-Hill. 200p.

Corke, D. K. (1977). Production Control in Engineering. Edward Arnold Publishers Ltd. London. 257 p.

Dennis, P., Shook, J. (2007). Lean Production Simplified. 2<sup>nd</sup> edition. Productivity Press. New York. 176p.

Eilon, S. (1962). Elements of Production Planning and Control. The MacMillan Company. Toronto. 587 p.

Francis, R. L., White J. A. (1974). Facility layout and location an analytical approach. Prentice-Hall. New Jersey. 468p.

George, M. L. ( 2002). Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Speed. McGraw-Hill. USA. 322p.

Harmon, R. L., Peterson, L. D. ( 1990). Reinventing the Factory. Productivity Breakthroughs in Manufacturing Today. The Free Press. New York. 303p.

Heizer, J., Render, B. (2014). Operations management. Sustainability and Supply Chain Management. 11.edition. Pearson. Harlow. 832p.

Hiltunen, L., (2009). Validiteetti ja reliabiliteetti. Jyväskylän yliopisto, verkkosivu Saatavissa (viitattu 15.1.2018): [http://www.mit.jyu.fi/ope/kurssit/Graduryhma/PDFt/validius\\_ja\\_reliabiliteetti.pdf](http://www.mit.jyu.fi/ope/kurssit/Graduryhma/PDFt/validius_ja_reliabiliteetti.pdf)

- Hopp, W., J., Spearman, M., L. (2011) *Factory Physics. Foundations of Manufacturing Management*. 3rd edition. Waveland Press, Inc. Long Grove 720p.
- Jones, D., Womack, J. (2009) *Seeing the Whole. Mapping the Extended Value Stream*. Version 1.1 Lean Enterprise Institute. Cambridge.
- Krajewski, L.J., Ritzman, L., P. (2005). *Operations Management. Processes and Value Chains*. 7<sup>th</sup> edition. Pearson Education. New Jersey. 831p.
- Liker, J.K. (2004). *The Toyota Way*. McGraw-Hill. 330p.
- Meyers, F. E., Stephens, M. P. (2005). *Manufacturing facilities design and material handling*. Third edition. Pearson Education, Inc. New Jersey. 509 p
- Modig, N., Åhlström, P. (2013). *Tätä on Lean. Ratkaisu tehokkuusparadoksiin*. Rheologica Publishing. Tukholma. 157p.
- Monden, Y. (1983). *Toyota Production System*. Institute of Industrial Engineers. Atlanta. 246p.
- Moore, J., M. (1962). *Plant Layout and Design*. The Macmillan Company. New York. 566 p.
- Muther, R., Hales, L. (2015). *Sytematic Layout Planning*. 4<sup>th</sup> Edition. Management & Industrial Research Publications. Marietta.
- Muther, R., (1955). *Practical Plant Layout*, 1<sup>st</sup> edition. McGraw-Hill Book Company, New York, 363 p.
- Nash, M.A., Poling, S.R. (2008). *Mapping the Total Value Stream: A Comprehensive Guide for Production and Transactional Processes*. CRC Press, Taylor&Francis Group. Portland. p.271
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System. Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press. Cambridge. 143p.
- Piirainen, A. (2015). *Lean- johtajakoulutus. Johdatus tehdasfysiikkaan*. Quality Knowhow Karjalainen Oy s. 137
- Pound. E. S., Bell, J. H., Spearman, M. L. (2014). *Factory Physics for Managers: how leaders improve performance in a post-lean six sigma world*. McGraw-Hill Education.
- Robbins, S. P., DeCenzo, D. A., Coulter, M. (2011). *Fundamentals of Management*. 7<sup>th</sup> edition. Pearson. 476p.














- Rother, M., Harris, R. (2001). Creating Continuous Flow. An action guide for managers, engineers&production associates. Lean Entrepris Institute, Inc. Cambridge, USA. p. 103
- Rother, M., Shook, J. (2009). Learning to See. Value –Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda. Version 1.4. Lean Enterprise Institute. Cambridge, MA. 102 p.
- Santos, J., Wysk, R. A, Torres, J. M. (2006). Improving Production with Lean Thinking. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey. 247p.
- Sarkar, D. The Seven A3 Problem Solving Steps in Detail. 13.5.2010, vrkkosivu Saatavissa (viitattu 21.1.2018): <https://www.processexcellencenetwork.com/lean-six-sigma-business-transformation/columns/the-seven-a3-problem-solving-steps-in-detail>.
- Saunders, M., Lewis, P., Thornhill, A. (2009). Research methods for business students. Fifth edition. Pearson Education Limited, Essex 614p.
- Shewale, P. P., Manmath S. S., Sane, S. M. Improvement in plant layout using systematic layout planning for increased productivity. International Journal of Advanced Engineering Research and Studies. Vol. 1, Iss. 3, 2012, PP. 259-261.
- Shingo, S. (1989). A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint. Productivity Press. Cambridge. 257 p.
- Simchi-Levi, D. (2010). Operations rules. Delivering Customer Value through Flexible Operations. The MIT (Massachusetts Institute of Technology) Press. 239p.
- Singh, M. Innovative Practices in Facility Layout planning. International Journal of Marketing, Financial Services & Management research. Vol. 1, Iss. 12, 2010.
- Slack, N., Chambers, S., Johnston, R. (2010). Operation Management. 6<sup>th</sup> edition. Prentice Hall. Harlow. 686p.
- Sobek, D. K. Toyota-Style Problem solving A3 Reports, verkkosivu Saatavissa (viitattu 21.1.2018): <https://www.lean.org/Search/Documents/406.pdf>.
- Stevensson, W. J. (2012). Operations Management: Theory and Practice. 11<sup>th</sup> edition. McGraw-Hill Education. New York. 908 p.
- Sule, D. R. (2009). Manufacturing Facilities. Location, Planning, and Design. 3<sup>rd</sup> edition. CRC Press. Boca Raton. 799p.
- Tuominen, K. (2010) LEAN Tehoa ja laatua prosessien ja virtauksen kehittämiseen. Readme.fi. A Bonnier Group Company. Helsinki. 161p.











Vonderembse, M. A., White, G. P. (1996). Operations management: concepts, methods and strategies. 3<sup>rd</sup> edition. West Publishing Company. St.Paul. MN. 845p.

Voss, C., Tsikriktsis, N., Frohlich, M. Case research in operations management. International Journal of Operations & Production Management. Vol 22, Iss. 2, 2002, pp. 195–219.






















What is Lean? Lean Enterprise Institute, verkkosivu Saatavissa (viitattu 31.12.2017): <https://www.lean.org/WhatsLean/>.

Womack, J. P., Jones, D. T. (2003). Lean Thinking. Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Free Press. New York. 396p.

ALLE 1600MM RULLIEN LOGISTIIKKA 1506 TAI LANGOITUKSEN TARPEISIIN (leikkaa kalvoleikkukoneella)				
NYT		Vaihe tehdään aina leikattaessa	Välimatka   Taajuus krt/vko	
	kalvorulla isossa kalvovarastossa			
	rullan kaataminen ja asettaminen kalvorullatelineeseen			
	rullan siirto pieneen kalvovarastoon		7	
	rullan siirto PVB-leikkurille	x	15	30
	asetuksen teko/ suojakelmun poistaminen	x		
	asetuksen teko/ kalvon pujottaminen leikkuriin	x		
	kalvon pätkiminen	x		
	asetuksen teko/kalvon pujottaminen pois leikkurista	x		
	rullan siirto sivuun kelmuspisteeseen	x	7	30
	rullan kelmutus	x		
	rullan siirto pieneen kalvovarastoon	x	8	30

UUSI LAYOUT				
	Vaihe tehdään aina leikattaessa	Välimatka [m]	Taajuus krt/vko	
	PVB rulla isossa kalvovarastossa			
	rullan kaataminen ja asettaminen kalvorullatelineeseen			
	rullan siirto pieneen kalvovarastoon		7	
	rullan siirto kalvovarastossa leikkurin eteen	x	3	155
	asetuksen teko/ suojakelmun poistaminen	x		
	asetuksen teko/ kalvon pujottaminen leikkuriin	x		
	kalvon pätkiminen	x		
	asetuksen teko/ kalvon pujottaminen pois leikkurista	x		
	rullan kelmutus	x		
	rullan siirto varastossa omalle paikalleen	x	3	

## LIITE 2 SIGLASOL-KALVON LEIKKUUPROSESSI NYKYTILAN- TEESSA JA UUDESSA LAYOUTISSA

SIGLASOL-KALVON LOGISTIIKKA			UUSI LAYOUT		
NYT	Tämä työvaihe tehdään jokaisena leikkuukertana		Tämä työvaihe tehdään jokaisena leikkuukertana		
	Välimatka [m]	Taajuus krt/vko	Välimatka [m]	Taajuus krt/vko	
	siglasol-kalvo isossa kalvovarastossa			siglasol-kalvo isossa kalvovarastossa	
	nostetaan trukilla piikeille ja siirretään Roclan piikeille			nostetaan trukilla piikeille	
	kuljetetaan Roclan piikeillä Zyndille	9		kuljetetaan välivarastoon uuteen paikkaan	80
	asetuksetetko/rullan asetus Zyndiin	x		rulla välivarastossa lähellä Zyndiä	
	leikkuu	x		tarvittavan rullan nosto Roclan piikeille varastossa	x
	asetuksen teko/rullan pois otto	x		rullan siirto Roclalla Zyndille	x
	rullan siirto "sivuun"	1		asetuksen teko / rullan setus Zyndiin	x
	kun rulla tyhjenee			leikkuu	x
	tyhjän hylsyn siirto isoon kalvovarastoon	5		asetuksen vaihto/rullan pois otto	x
	tyhjän hylsyn poistaminen telineestä			rullan siirto varastoon	x
				kun rulla tyhjenee	
				tyhjän hylsyn siirto isoon kalvovarastoon	80
				tyhjän hylsyn poistaminen telineestä	5

## LIITE 3 TOIMINTOPARIEN SELITYKSET NYKYTILANTEESSA JA TULEVAISUUDESSA

### Nykytilanne

toimintopari	toimintoparin nimi
1-7	lasi WIP-1510
3-2	PVB-vrsto-PVB-leikkuu
8-13	1506-pakkaamo/klaavit
1-8	lasi WIP-1506
3-9	PVB-leikkuu-1508
1-9	lasi WIP-1508
7-13	1510-klaavit/pakkaamo
9-13	1508-klaavit/pakkaamo
2-10	PVB-vrsto-langoitus
9-10	1508-langoitus
7-15	110-sosiaalitulat
8-15	1506-sosiaalitulat
9-15	1508-sosiaalitulat
10-15	langoitus-sosiaalitulat
11-15	4.langoitusrumpu-sosiaalitulat
3-8	PVB-leikkuu-1506
2-8	PVB varasto-1506
5-9	1508 pateri - 1508 linja
6-13	1510 pateri-pakkaamo
8-11	4.langoitusrumpu-1506-linja
2-9	PVB varasto-1508-linja
8-12	1506-linja - PVB keräyspiste
2-6	1510 pateri-PVB varasto
3-7	PVB leikkuu - 1510-linja
6-10	1510 pateri-langoitus
7-12	1510-linja - PVB keräyspiste
9-12	1508-linja - PVB keräyspiste
12-14	PVB-keräyspiste - EHS katos
9-14	1508-linja - rousku
10-11	langoitustila - 4.langoitusrumpu
10-12	langoitus - PVB keräyspiste
2-4	PVB varasto - 1505-pateri
10-14	langoitustila - EHS-katos
2-14	PVB varasto-EHS-katos
2-5	PVB varasto-1508-pateri

### Tulevaisuus

toimintopari	selitys toimintopari 1	selitys toimintopari 2
2-9	kammio lasi WIP	1510
1-12	sarjauuni Lasi WIP	solu
3-12	PVB varasto	PVB leikkuu
9-15	1510	Pakkaamo
1-9	sarjauuni Lasi WIP	1510
10-15	1506	Pakkaamo
12-15	solu	Pakkaamo
1-10	sarjauuni Lasi WIP	1506
2-11	kammio lasi WIP	1508
11-15	1508	Pakkaamo
9-17	1510	Sosiaalitulat
10-17	1506	Sosiaalitulat
11-17	1508	Sosiaalitulat
13-17	langoitustila	Sosiaalitulat
12-17	solu	Sosiaalitulat
7-10	1508 pateri	1506
18-6	PVB valmistelu	1505 pateri
10-14	1506	PVB keräyspiste
2-10	kammio lasi WIP	1506
3-8	PVB varasto	1510 pateri
4-5	PVB leikkuu	zynd
4-9	PVB leikkuu	1510
4-10	PVB leikkuu	1506
4-12	PVB leikkuu	solu
5-10	zynd	1506
5-11	zynd	1508
6-13	1505 pateri	langoitustila
7-13	1508 pateri	langoitustila
9-14	1510	PVB keräyspiste
10-13	1506	langoitustila
11-13	1508	langoitustila
11-14	1508	PVB keräyspiste
18-5	PVB valmistelu	zynd
18-10	PVB valmistelu	1506
12-14	solu	PVB keräyspiste
3-7	PVB varasto	1508 pateri
5-6	zynd	1505 pateri
5-14	zynd	PVB keräyspiste
6-10	1505 pateri	1506
11-16	1508	busku/EHS-katos/leikkuu
12-13	solu	langoitustila
13-14	langoitustila	PVB keräyspiste
3-6	PVB varasto	1505 pateri
10-16	1506	busku/EHS-katos/leikkuu
12-16	solu	busku/EHS-katos/leikkuu
5-9	zynd	1510

LIITE 4 TOIMINTOJEN VÄLINEN SUHDEKAAVIO

	Sarjauuni välivarasto	Kammiouunien välivarasto	PVB varasto	Zynd	PVB-leikkukone ≤1600mm	1505-pateri	1508-pateri	1510-pateri	1506-linja	1508-linja	1510-linja	Solu	Langottus keräyspiste	PVB-keräyspiste	Pakkaamo	Rousku/EHS-katos	Sosiaali tilat	PVB valmistelu
Sarjauuni välivarasto									I/5	O/5	E/5	A/5						
Kammiouunien välivarasto																		
PVB varasto				I/4	A/1,2	U/2	U/2	O/2	O/3	O/4	U/4							O/3
Zynd																		
PVB-leikkukone ≤1600mm				A/2	O/2						O/2	E/1						I/2,3
1505-pateri				U/2	U/3				U/2									
1508-pateri									O/2			O/1	O/2					A/2,3
1510-pateri																		
1506-linja	I/5	O/5		O/3		U/2	O/2						O/1	O/2	E/5	U/5	I/6	O/3
1508-linja		I/5		O/4									O/1	O/2	I/5	U/5	I/6	
1510-linja	E/5	A/5	O/2	U/4	O/2								I/1	O/2	E/5	O/5	I/6	
Solu	A/5				E/1								U/1	O/2	E/5	U/5	I/6	
Langottus							O/1		O/1	O/1	I/1	U/1					I/6	
PVB-keräyspiste						O/2	O/2		O/2	O/2	O/2		U/1				I/6	
Pakkaamo									E/5	I/5	E/5	E/5						
Rousku/EHS-katos									U/5	U/5	O/5	U/5						
Sosiaali tilat									I/6	I/6	I/6	I/6						
PVB valmistelu				O/3	I/2,3	A/2,3			O/3									

- Numeroiden selitykset

1

2

3

4

5

6

A

E

I

O

U
- Kirjainten selitykset

langoitettujen kalvojen kuljetus

kylmien kalvojen kuljetus

NL-lasin kalvologistiikka

Siglasol-lasien kalvologistiikka

Lasien/lasiupukien liikenne

Henkilöliikenne

Absolutely necessary

Especially important

Important

Ordinary importance

Unnecessary